

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

E.A.P. DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

**Composición bioquímica y distribución de la materia
orgánica sedimentaria y sus efectos sobre la estructura
comunitaria de la meiofauna en la plataforma
continental frente a Callao.**

TESIS

Para optar al Título Profesional de Biólogo con mención en Hidrobiología
y pesquería

AUTOR :

Alexander Pérez Segovia

ASESOR:

Blgo. Oswaldo Cornejo Gonzales

Lima – Perú

2012

Acta de Sustentación

*A mi familia, al aporte invaluable
de cada uno de ellos a mi vida...*

Agradecimientos

Expreso mi más sincero agradecimiento al grupo de trabajo del laboratorio de Bentos marino del Instituto del Mar del Perú: Dr. Dimitri Gutiérrez, Blgo. Edgardo Enríquez, Blgo. Luis Quipúzcoa, al Bach. Jorge Cardich y al Tco. Robert Marquina por su apoyo y recomendaciones durante la realización de esta tesis.

A mi familia por su apoyo, paciencia, consejos y motivación antes, durante y después de la realización de este trabajo. Expreso mi gratitud al Profesor Roger Quiroz, de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por sus recomendaciones y confianza puesta en mi persona durante mis estudios de pre-grado y practicas pre-profesionales en laboratorio de Bentos marino. Mi gratitud al personal integrante del laboratorio de Geología marina: Ing. Federico Velazco, Ing. Juana Solís, Quim. Wilson Carhuapoma y al personal integrante del laboratorio de Hidroquímica: Ing. Jesús Ledesma, Tco. Carlos Robles y a la Quim. Violeta León, por las facilidades brindadas al momento de la realización del análisis biogeoquímico de las muestras.

Índice general

Resumen.....	i
Lista de Tablas.....	iii
Lista de Figuras.....	vii
1. Introducción general.....	1
2. Marco teórico.....	6
2.1. Características de la zona de estudio.....	6
2.2. Bentos del Pacífico sur-oriental.....	6
2.3. Características generales de la meiofauna	10
2.4. Detritus y calidad de la materia orgánica sedimentaria	12
2.5. Ecología de la meiofauna metazoaria en zonas deficientes de oxígeno	14
3. Hipótesis.....	16
4. Objetivos.....	17
5. Materiales y Métodos.....	19
5.1. Diseño del Muestreo.....	19
5.2. Hidrografía.....	20
5.3. Muestreo de sedimentos y comunidades	23

5.3.1. Pigmentos fotosintéticos, carbohidratos, lípidos y proteínas.....	23
5.3.2. Meiofauna metazoaria, meiofauna protozoaria y macrobentos.....	24
5.4. Análisis y estimación de la composición bioquímica del sedimento.....	25
5.4.1. Carbohidratos Totales	25
5.4.2. Lípidos Totales	26
5.4.3. Proteínas Totales	26
5.4.4. Estimación de la fracción Lábil de la materia orgánica.....	27
5.5. Análisis biológicos y estimación de parámetros comunitarios	33
5.5.1. Meiofauna.....	33
5.5.1.1. Abundancia.....	34
5.5.1.2. Biomasa.....	34
5.5.1.3. Producción Secundaria.....	35
5.5.2. Macrofauna.....	39
5.5.2.1. Abundancia.....	39
5.5.2.2. Biomasa.....	39
5.6. Análisis Estadístico.....	42

6. Resultados.....	43
6.1. Hidrografía.....	43
6.1.1. Temperatura.....	43
6.1.2. Salinidad.....	44
6.1.3. Oxígeno disuelto.....	44
6.2. Parámetros Sedimentarios.....	47
6.2.1. Pigmentos Fotosintéticos.....	47
6.2.1.1. Clorofila-a.....	47
6.2.1.2. Feopigmentos.....	48
6.2.2. Composición Bioquímica del Sedimento.....	54
6.2.2.1. Carbohidratos.....	54
6.2.2.2. Lípidos.....	55
6.2.2.3. Proteínas.....	56
6.3. Composición y Estructura Comunitaria.....	61
6.3.1. Meiofauna Metazoaria.....	61
6.3.1.1. Abundancia.....	61
6.3.1.2. Diversidad.....	63
6.3.1.3. Biomasa.....	63
6.3.1.4. Producción Secundaria.....	65
6.3.2. Macrofauna.....	76

6.3.2.1.	Abundancia.....	76
6.3.2.2.	Diversidad.....	77
6.3.2.3.	Biomasa.....	77
6.3.2.4.	Biomasa de la Meiofauna metazoaria y Macrofauna.....	80
6.3.3.	Meiofauna protozoaria.....	82
6.3.3.1.	Abundancia.....	82
6.3.3.2.	Diversidad.....	83
6.4.	Estadísticos.....	88
6.4.1.	Parámetros Sedimentarios.....	88
6.4.1.1.	Primer centímetro de sedimento.....	88
6.4.1.2.	Columna de sedimento.....	89
6.4.2.	Parámetros Sedimentarios y Biológicos.....	91
6.4.2.1.	Primer centímetro de sedimento.....	91
6.4.2.1.1.	Meiofauna metazoaria.....	91
6.4.2.1.2.	Meiofauna protozoaria.....	92
6.4.2.1.3.	Macrofauna.....	92
6.4.2.2.	Columna de sedimento.....	93
6.4.2.2.1.	Meiofauna metazoaria.....	93
6.4.2.2.2.	Meiofauna protozoaria.....	94

6.4.3. Parámetros sedimentarios y Meiofauna metazoaria	95
6.4.3.1. Primer centímetro de sedimento.....	95
6.4.3.2. Columna de sedimento.....	96
6.4.4. Agrupamiento por Sitios de Muestreo.....	102
7. Discusión.....	106
7.1. Condiciones Oceanográficas.....	106
7.2. Distribución y concentración de los principales indicadores	110
7.2.1. Efecto de EN 2009-2010 sobre la concentración de cloropigmentos	110
7.2.2. Indicadores de calidad de materia orgánica en otros sistemas marino-costeros	111
7.2.2.1. Cloropigmentos.....	111
7.2.2.2. Razón Cla: feopigmentos.....	112
7.2.2.3. Carbohidratos.....	112
7.2.2.4. Lípidos.....	113
7.2.2.5. Proteínas.....	114
7.3. Factores que controlan la sedimentación y degradación de los indicadores de calidad de materia orgánica	115
7.3.1. Razón Cl-a:feopigmentos.....	115

7.3.2. Carbohidratos	115
7.3.3. Lípidos.....	116
7.3.4. Proteínas.....	117
7.4. Estructura comunitaria y distribución de la meiofauna metazoaria.....	121
7.4.1. Variación Espacial.....	121
7.4.1.1. Abundancia.....	121
7.4.1.2. Biomasa.....	122
7.4.1.3. Diversidad.....	123
7.4.2. Variación Vertical.....	123
7.5. Producción Secundaria del meibentos metazoario y requerimientos metabólicos.....	127
7.6. Comparación de la meiofauna metazoaria con otros componentes del bentos.....	129
7.6.1. Relación con la macrofauna.....	129
7.6.2. Relación con foraminíferos bentónicos.....	132
7.7. Influencia de las condiciones biogeoquímicas sobre la comunidad del meibentos.....	136
8. Conclusiones.....	142
9. Proyecciones.....	145
10. Referencias Bibliográficas.....	146

Composición bioquímica y distribución de la materia orgánica sedimentaria y sus efectos sobre la estructura comunitaria de la meiofauna en la plataforma continental frente a Callao

Alexander Pérez Segovia

Resumen.

Se estudió la composición y distribución de la materia orgánica sedimentaria en términos de Carbohidratos, Lípidos y Proteínas, así como sus repercusiones sobre la estructura comunitaria de la meiofauna metazoaria (abundancia, biomasa y diversidad a nivel de grandes grupos), además, se estima su rol en el flujo de energía del sub-sistema bentónico mediante el cálculo de la producción secundaria y respiración frente a las costas de Perú Central, Callao (12°S). Las muestras se recolectaron en el mes de Abril del año 2010, en un gradiente batimétrico en cinco estaciones: Estación E1 (48m) y E2 (93m) correspondiente a la plataforma interna, estación E3 (117m) correspondiente a la plataforma intermedia y la estación E4 (143m) y E5 (148m) correspondiente a la plataforma externa. En cada estación se determinaron parámetros fisicoquímicos como oxígeno disuelto, salinidad y temperatura. Asimismo se determinó el contenido de pigmentos fotosintéticos (clorofila- a y feopigmentos) en la columna de sedimento.

El meiobentos resultó poco diverso a nivel de grandes grupos, presentando biomasas y abundancias moderadamente altas, en el rango de valores típicos reportados para el sublitoral areno fangoso. Los nematodos dominaron la meiofauna metazoaria, constituyendo más del 90% de las densidades totales, seguido por el grupo Nemertea, Gastrotrichia y Polychaeta. Las abundancias y biomasas aumentaron hacia las localidades cercanas a la costa, correspondientes a estaciones menos profundas. La distribución vertical de organismos fue significativamente superior en los primeros centímetros de la columna de sedimento. Con respecto a los principales indicadores de calidad de Materia orgánica (Carbohidratos, Lípidos y Proteínas), presentaron mayores concentraciones lábiles hacia las estaciones más someras. Verticalmente, estas concentraciones disminuyeron hacia los centímetros subsuperficiales de la columna de sedimento. La estructura de la comunidad de meiobentos metazoario, estuvo influenciada por la cantidad de materia orgánica biodisponible en términos de sus principales componentes, mientras que la diversidad estuvo determinada por las concentraciones de oxígeno disuelto de fondo, asociadas a la señal remanente del evento El Niño 2009-2010.

Lista de Tablas

Tabla 1. Profundidad, distancia a la costa y posición geográfica de las cinco estaciones de muestreo.....	21
Tabla 2. Factor de conversión para calculo de biovolumen (nl) de diferentes taxones usando la ecuación $V=LW^2C$. (Feller y Warwick, 1988).....	37
Tabla 3. Factores de conversión para transformar valores de peso húmedo, a peso seco libre de ceniza (<i>AFDW</i>) y carbono orgánico (Brey et al., 1988).....	40
Tabla 4. Condiciones oceanográficas en superficie y fondo en los cruceros realizados en Abril del año 2010. Temperatura (°C), Salinidad y Oxígeno disuelto (OD).....	45
Tabla 5. Concentración de feopigmentos y razón Cl-a: feopigmentos en la columna de sedimento, para las cinco estaciones de muestreo.....	50
Tabla 6. Concentración de Cl-a, Carbohidratos (CHO), Proteínas (PRT) y Lípidos (LIP) en la columna de sedimento, para las cinco estaciones de muestreo.....	57
Tabla 7. Densidad de la meiofauna (Ind.10cm^{-2}) por estratos de profundidad en el perfil batimétrico frente a Callao (<i>n</i> : número de réplicas).....	66

Tabla 8. Densidad relativa (%) de la meiofauna por estratos de profundidad en el perfil batimétrico frente a Callao (<i>n</i> : número de réplicas).....	67
Tabla 9. Biomasa (mgC.10cm ⁻²) de la meiofauna metazoaria por estratos de profundidad en el perfil batimétrico frente a Callao (<i>n</i> : número de réplicas).....	68
Tabla 10. Producción secundaria de la meiofauna estimada según el modelo de Tumbiolo y Downing (1994) y razones P/B derivadas del cálculo.....	69
Tabla 11. Resumen de resultados de la biomasa total (B), producción secundaria (P), productividad (P/B), y respiración total meiobentónica (R) en el área de estudio (promedios ± SD).....	70
Tabla 12. Densidad (Ind.m ⁻²) de la macrofauna en el perfil batimétrico frente a Callao. (<i>n</i> : número de réplicas).....	78
Tabla 13. Biomasa (gC.m ⁻²) de la macrofauna en el perfil batimétrico frente a Callao. (<i>n</i> : número de réplicas).....	79
Tabla 14. Densidad (Ind.10cm ⁻²) de la fauna protozoaria (foraminíferos) por estratos de profundidad en el perfil batimétrico frente a Callao (<i>n</i> : número de réplicas).....	84

Tabla 15. Densidad relativa (%) de la fauna protozoaria (foraminíferos) por estratos de profundidad en el perfil batimétrico frente a Callao (n: número de réplicas).....	85
Tabla 16. Correlaciones de rango de Spearman en el primer centímetro de sedimento entre variables, biogeoquímicas totales. Correlación significativa ($p<0,1$).....	90
Tabla 17. Correlaciones de rango de Spearman en la columna de sedimento entre variables biogeoquímicas totales ($p<0,1$).....	90
Tabla 18. Correlaciones de rango de Spearman en el primer centímetro de sedimento entre variables fisicoquímicas, biogeoquímicas y la meiofauna metazoaria. Correlación significativa ($p<0,1$).....	97
Tabla 19. Correlaciones de rango de Spearman en el primer centímetro de sedimento entre variables fisicoquímicas, biogeoquímicas y la meiofauna protozoaria. Correlación significativa ($p<0,1$).....	98
Tabla 20. Correlaciones de rango de Spearman en el primer centímetro de sedimento entre variables fisicoquímicas, biogeoquímicas lábiles y la macrofauna. Correlación significativa ($p<0,1$).....	99

Tabla 21. Correlaciones de rango de Spearman en la columna de sedimento entre variables fisicoquímicas, biogeoquímicas lábiles y la meiofauna metazoaria. Correlación significativa ($p < 0,1$).....	100
Tabla 22. Correlaciones de rango de Spearman en la columna de sedimento entre variables fisicoquímicas, biogeoquímicas lábiles y la meiofauna protozoaria. Correlación significativa ($p < 0,1$).....	101
Tabla 23. Comparación de las concentraciones de carbohidratos, lípidos y proteínas en sedimentos marinos registradas en estudios anteriores Modificado de Sellanes (2002).....	139
Tabla 24. Comparación de la abundancia de la nematofauna y Meiofauna metazoaria en estudios anteriores. Modificado de Sellanes (2002).....	140
Tabla 25. Comparación entre las biomاسas de la macrofauna y la meiofauna metazoaria en estudios anteriores. Rb es la razón entre la biomasa de la macrofauna y la de la meiofauna. Valores expresados en mgC.m^{-2} . Modificados de Le Guellec y Bodin (1992), Sellanes (2002).....	141

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema de los factores que estructuran el hábitat del meiobentos (modificado de Giere, 2009).....	5
Figura 2. Localización de los cinco sitios de muestreo. E1 y E2 (plataforma continental interior); E3 (plataforma continental media); E4 y E5 (plataforma continental exterior).....	22
Figura 3. Cuadro de flujo para determinación de contenido de clorofila a (Cl-a) en sedimento marino. (Gutiérrez, 2000).....	29
Figura 4. Cuadro de flujo para determinación del contenido de carbohidratos totales en sedimento, modificado de (Dubois et al., 1956) y su respectiva curva de calibración.....	30
Figura 5. Cuadro de flujo para determinación del contenido de lípidos totales en sedimento, modificado de (Barnes y Blackstock, 1973) y su respectiva curva de calibración.....	31
Figura 6. Cuadro de flujo para determinación del contenido de proteínas totales en sedimento, modificado de (Lowry et al. 1951) modificado por Rice (1982) y su respectiva curva de calibración.....	32

Figura 7. Cuadro de flujo para el muestreo y análisis de la meiofauna.....	38
Figura 8. Cuadro de flujo para el muestreo y análisis de la macrofauna.....	41
Figura 9. Distribución vertical de los parámetros físicos y químicos en la línea Callao del crucero CRIO 1004, BIC José Olaya (27 de Abril de 2010).....	46
Figura 10. Distribución espacio-vertical ($\mu\text{g.g}^{-1}$) e integrada ($\mu\text{g.cm}^{-2}$) del contenido lábil (Gris) y valor Background (Negro) de Cl-a en la columna de sedimento para las cinco estaciones de muestreo.....	51
Figura 11. Distribución espacio-vertical ($\mu\text{g.g}^{-1}$) e integrada ($\mu\text{g.cm}^{-2}$) del contenido de feopigmentos totales en la columna de sedimento para las cinco estaciones de muestreo	52
Figura 12. Razones promedio Cl-a:feopigmentos en la columna de sedimento (Negro) y en el primer centímetro de sedimento (Gris) para las cinco estaciones de muestreo	53
Figura 13. Distribución espacio-vertical (mg.g^{-1}) e integrada (mg.cm^{-2}) del contenido lábil (Gris) y valor Background (Negro) de Carbohidratos (CHO) en la columna de sedimento para las cinco estaciones de muestreo	58

Figura 14. Distribución espacio-vertical (mg.g^{-1}) e integrada (mg.cm^{-2}) del contenido lábil (Gris) y valor Background (Negro) de Lípidos (LIP) en la columna de sedimento para las cinco estaciones de muestreo.....	59
Figura 15. Distribución espacio-vertical (mg.g^{-1}) e integrada (mg.cm^{-2}) del contenido lábil (Gris) y valor Background (Negro) de Proteínas (PRT) en la columna de sedimento para las cinco estaciones de muestreo.....	60
Figura 16. Distribución espacial de la abundancia y diversidad de la meiofauna metazoaria para las cinco estaciones de muestreo	71
Figura 17. Distribución espacio-vertical de la abundancia de la meiofauna metazoaria y porcentaje relativo de distribución en la columna de sedimento para las cinco estaciones de muestreo.....	72
Figura 18. Distribución espacio-vertical de la diversidad de la meiofauna metazoaria en la columna de sedimento para las cinco estaciones de muestreo.....	73
Figura 19. Distribución espacio-vertical de la biomasa de la meiofauna metazoaria en la columna de sedimento para las 5 estaciones de muestreo durante el periodo de estudio.....	74

Figura 27. Agrupamiento por sitios de muestreo en base al índice de similitud de Bray-Curtis a partir de la matriz de abundancias de la meiofauna protozoaria.....	105
Figura 28. Distribución vertical de la temperatura y OD en la columna de agua para la línea Callao durante A) Crucero CRIO 0904. B) Crucero MINIOX 1001. C) Crucero CRIO 1004.....	109

1. Introducción general

En la actualidad se sabe que en los sedimentos marinos converge una compleja red de factores abióticos y bióticos, los cuales están estrechamente ligados a las características granulométricas de los mismos (tamaño de grano, porosidad, etc.). Todos estos factores, determinan la dinámica tanto de las comunidades bentónicas como de los ciclos bioquímicos (Giere, 2009). La activación microbiana y de los flujos geoquímicos gatillado por el aporte de materia orgánica al sistema, dan como resultado una distribución particular de la meiofauna, influenciada por la formación de biofilms bacterianos, depósito de fitodetritus y colonización de otros animales bentónicos como poliquetos (Giere, 2009). Esta intrincada red de factores bióticos que influyen sobre la meiofauna, unida a la influencia de factores abióticos (H_2S , O_2 , T, pH) ofrecen una mayor resolución del dinamismo en el sistema bentónico.

El ecosistema en el que se desarrolla el meiobentos, además de estar sujeto a la influencia de factores bióticos y abióticos, está sujeto a la ocurrencia de disturbios episódicos (espaciales y temporales) tales como anomalías térmicas, eventos de contaminación, entre otros. Estas alteraciones tienen un efecto que puede ir de pequeña a gran escala, modificando el sistema, muchas veces, de forma impredecible, modificando patrones de distribución y diversidad de la meiofauna. Esta diversidad es mantenida por

la selectividad nutricional de la meiofauna, que parece ser adaptativamente superior a la de la macrofauna (Austen y Widdicombe, 2006).

El hábitat en el que se desarrolla el bentos, es el sedimento marino, el cual contiene un complejo sistema de interacción de componentes orgánicos (mucosas, excreciones, aglutinaciones detríticas y películas microbianas) que se entretajan junto a las partículas inorgánicas. Estos componentes, representan un factor clave vinculado a bio-películas producidas por bacterias, diatomeas y fauna al ser muy atractivos para la alimentación de la meiofauna y como resultado controlando su distribución en la columna de sedimento (Neira et al., 2001b).

Las superficies sedimentarias ricas en nutrientes biodisponibles son sustratos ideales para la colonización del meiobentos, la que viene acompañada de altas poblaciones bacterianas que se acumulan en capas superficiales de la columna de sedimento en donde se deposita el material orgánico más lábil (Watling, 1991; Meysman et al. 2006b). Estas poblaciones bacterianas representan una importante fuente nutritiva para la meiofauna, mientras que los productos de desecho metabólicos de la meiofauna son aprovechados por las bacterias para su proliferación. (Tenore y Rice, 1980; Meadows, 1986). La complejidad ecosistémica que presenta la meiofauna metazoaria justifica la medición de parámetros bióticos y abióticos cada vez más específicos.

El ecosistema marino de Humboldt, frente a la costa central del Perú, está caracterizado por procesos de afloramiento cerca de la costa, así como por la presencia de una zona mínima de oxígeno (ZMO), asociada a la contracorriente subsuperficial Perú-Chile (Wooster y Gilmartin, 1961; Codispoti y Packard, 1980). La ZMO intercepta gran parte del margen continental afectando directamente a los procesos en el subsistema bentónico. La alta sedimentación de carbono orgánico particulado incrementa el déficit de oxígeno, dando lugar a condiciones reductoras en los sedimentos superficiales. En comparación a otros ecosistemas, la ZMO frente al Perú es más intensa y somera, afectando la calidad de materia orgánica sedimentaria, así como a los organismos que en ella habitan.

La compleja red de factores abióticos que afectan a la meiofauna, determina la ocurrencia de diversos procesos ecológicos, afectando la disponibilidad de alimento, adaptación y competencia, referidos principalmente a la calidad de materia orgánica sedimentaria en el fondo marino. (Medernach 2000, Sellanes, 2002). Se entiende por calidad de materia orgánica como el contenido alimenticio de valor nutritivo potencialmente asimilable por la fauna bentónica heterotrófica (Sellanes, 2002) y que puede ser cuantificada mediante sus principales descriptores bioquímicos (carbohidratos, lípidos y proteínas).

Este tipo de aproximación cualitativa (composición bioquímica), ha mostrado ser más útil en términos ecológicos que las aproximaciones holísticas (Carbono orgánico total) (Watlin, 1991). En el presente estudio se plantea que la calidad de la materia orgánica es un factor importante en la estructuración batimétrica (abundancia, biomasa y diversidad) de la comunidad meiobentónica en la costa central del Perú, ya que la biodisponibilidad de este tipo de materia orgánica, facilita un aumento en biomasa y densidad en la comunidad del meiobentos, además de que el oxígeno no cumple un rol crítico en la comunidad, puesto que estos organismos ya están adaptados a estas condiciones de estrés.

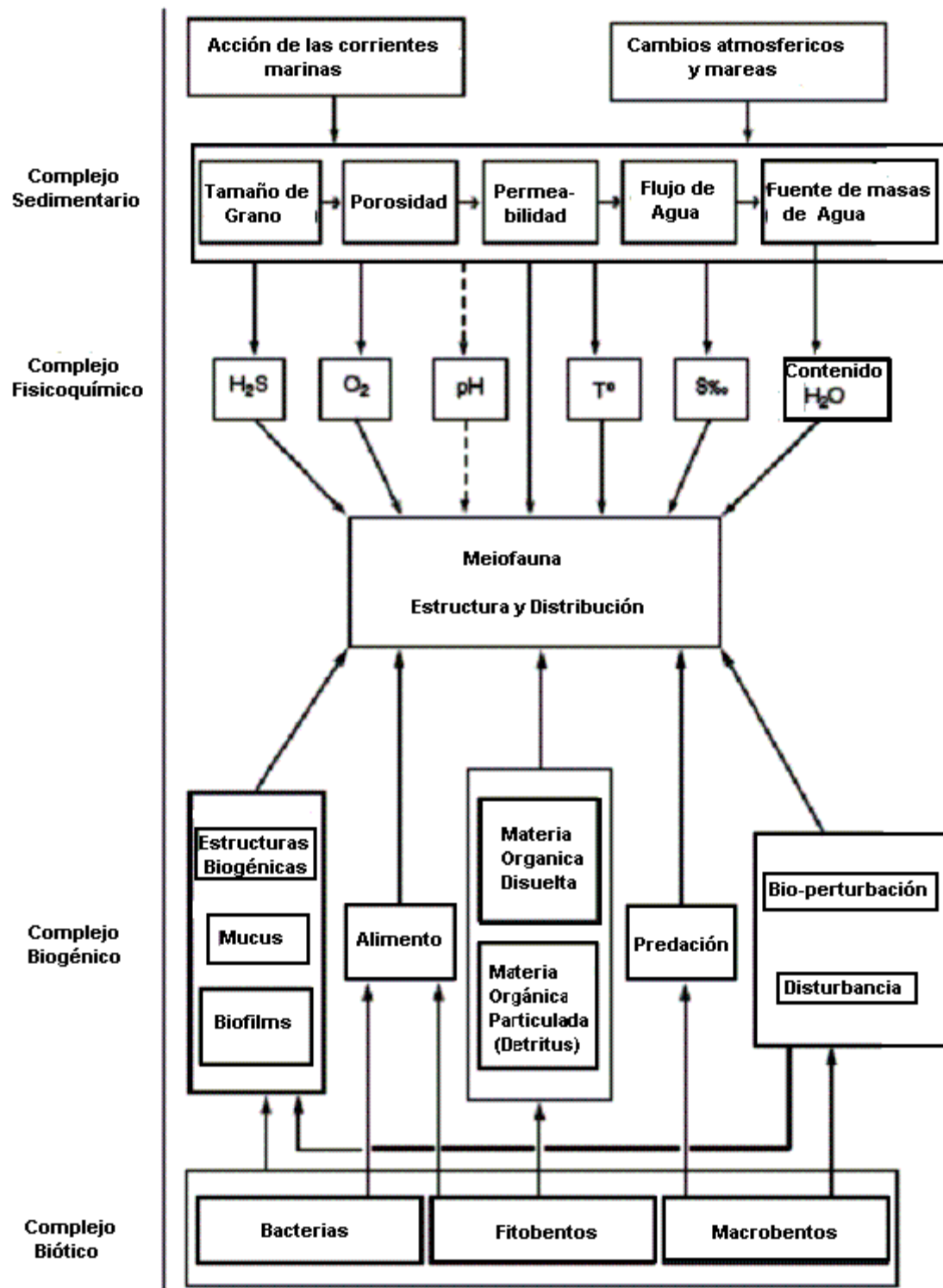


Figura 1. Esquema de los factores que estructuran el hábitat del meiobentos (modificado de Giere, 2009).

2. Marco teórico.

2.1. Características de la zona de estudio.

Las características oceanográficas de la zona de estudio están fuertemente influenciadas por la zona mínima de oxígeno $< 0,5 \text{ ml.L}^{-1}$ (Anderson et al., 1982). Esta zona mínima de oxígeno está bien desarrollada, ya que comparada con otros sistemas de surgencias es mucho más intensa y somera, alcanzando los 30-50m por debajo de la superficie e interceptando la capa eufótica (Helly y Levin, 2004). La ZMO tiene una influencia significativa desde el punto de vista ambiental y ecológico, limitando el desarrollo de comunidades tanto pelágicas como bentónicas. La coexistencia de bajo oxígeno y alta materia orgánica a la que da lugar, modula la estructura y abundancia de las comunidades bentónicas asociadas (Arntz et al., 1991; Gutiérrez et al., 2008).

2.2. Bentos del Pacífico Sur-oriental.

Las comunidades bentónicas presentan una amplia gama de organismos vegetales (fitobentos) y animales (zoobentos), los cuales presentan una estrecha relación con el fondo marino. Así, organismos que habitan sobre la superficie de sedimento (epibiontes) y los que habitan en el

interior de la columna de sedimento (endobiontes), dependen en gran medida de las condiciones biogeoquímicas y fisicoquímicas que se den en el sedimento. (Levin et al., 2002; Arntz et al., 2006). En relación al tamaño de organismos y su clasificación trófica, se distinguen a los organismos macrófagos (consumen presas y/o partículas de materia orgánica de tamaño grande), en este rango se encuentran los organismos pertenecientes a la megafauna (>1000um) y macrofauna (1000um – 500um). También se distinguen organismos micrófagos (consumen presas y partículas de tamaño muy pequeño en relación al tamaño del consumidor), en este rango se encuentran los organismos pertenecientes a la, meiofauna (500um – 45um) y microfauna (<45um) (Gage y Tyler 1991).

Se han realizado diversos estudios de la megafauna y macrofauna a lo largo del Ecosistema de la Corriente de Humboldt, (Rosengberg et al., 1983; Gallardo, 1985; Arntz y Fahrbach, 1996; Gutiérrez, 2000; Levin et al., 2002). Este sistema ha sido tomado como un modelo para estudiar los efectos de las condiciones deficientes de oxígeno en el bentos, sabiendo además que el alto flujo de materia orgánica contribuye al mantenimiento de altas biomasas en condiciones de anoxia, lo que facilita una mejor preservación de materia orgánica (Neira et al., 2001a). En el caso del margen continental frente a Perú, la materia orgánica sedimentaria se compone en su mayoría de fitodetritus, la

cual es aprovechada por organismos especialistas tolerantes tanto a déficit de oxígeno como a la alta carga orgánica que llega al subsistema. (Levin et al. 1991).

Los cambios sucesionales en el bentos del pacífico sur oriental, han estado relacionados principalmente a la dinámica del ENSO (Tarazona et al., 1996; Arntz et al., 2006; Sellanes et al., 2007; Gutiérrez et al., 2008). Frente a Perú central, durante años no- El Niño, ecosistemas de fondos someros son dominados por especies bentónicas que son tolerantes a la deficiencia de oxígeno como poliquetos, bacterias filamentosas (*Thioploca*) o nematodos. Durante eventos El Niño se da la ocurrencia de especies oportunistas, sobretodo en estadios de desarrollo temprano (ofiuroideos y poliquetos) (Tarazona et al., 1996). Frente a Chile central, durante El Niño 97-98 se alteró el régimen de deficiencia de oxígeno y se redujo el flujo de carbono, lo que produjo que la estructura trófica de la macrofauna cambiase de organismos que se alimentan en la interfase agua sedimento a organismos que se alimentan de depósito sub-superficial (Sellanes et al., 2007)

Las biomasas de bacterias sulfuro-oxidantes (*Thioploca*) se ven reducidas significativamente durante fuertes eventos de oxigenación. Frente a Perú se han encontrado abundantes vainas vacías de *Thioploca* en el sedimento superficial, asociados a eventos El Niño (Gutiérrez et al., 2008). Frente a Chile central se han encontrado

abundantes tapetes de *Thioploca* dominando las biomásas del macrobentos durante años no- El Niño, pero estas desaparecieron durante eventos El Niño (Gallardo, 1985).

Para la meiofauna frente a Perú central, también se reflejan cambios asociados a eventos de oxigenación y flujo de carbono orgánico. Aunque los nematodos conforman alrededor del 90% del total de individuos a lo largo de la plataforma, hay un claro aumento de la diversidad total, dando paso a grupos como Copépodos, Harpacticoides, Nemertinos, Halacaridos, Bivalvos, y reduciéndose en menor medida la dominancia de nematodos (Gutiérrez et al., 2008). Frente a Chile central, se ha reportado que durante eventos El Niño, Harpacticoides y copépodos se incrementan hacia los lugares más someros, y grupos dominantes como los nematodos, disminuyen sus densidades (Neira et al., 2001b).

Es de esperar, que los cambios sobre la meiofauna metazoaria así como el de las demás comunidades del bentos dependan mucho de las condiciones oceanográficas que modulan el contenido de materia orgánica lábil y las concentraciones de oxígeno disuelto (Rosengberg et al., 1983; Gutiérrez et al., 2000; Levin, 2003).

2.3. Características generales de la meiofauna.

Anteriormente se caracterizaba a la meiofauna (Mare, 1942) como un conjunto de invertebrados bentónicos móviles o sésiles que se diferenciaban tanto de la macrofauna como de la megafauna bentónica por su tamaño significativamente más reducido. En la actualidad, se acepta la división de la fauna bentónica en cinco grupos de acuerdo a su rango de tamaños (nanobiota, microfauna, meiofauna, macrofauna y megafauna) (Parsons et al. 1984b; Gage y Tyler, 1991). Cabe recalcar que hay una relación entre el tamaño de los organismos y su ecología (funciones, adaptaciones, estilos de vida) (Giere, 1993), se dice entonces, que esta clasificación no es arbitraria.

Se define a la meiofauna metazoaria (Nematodos, Copépodos, Halacaridos, Nemertinos, Bivalvos, etc.) y protozoaria (foraminíferos calcáreos, aglutinados y tectináceos), como a organismos invertebrados bentónicos que en su estado adulto, pasan a través de un tamiz de 500um de abertura de malla, y quedan retenidos en un tamiz de 45um de abertura de malla; cabe mencionar que los estadios larvarios de especies formalmente pertenecientes a la macrofauna se consideran meiofauna temporal, como es el caso de la mayoría de poliquetos. Sólo unos pocos grupos mayores de la meiofauna como Kinorhyncha, Tardigrada,

Gastrotricha y Halacarida podrían clasificarse exclusivamente como tales, ya que siempre se encuentran en el rango de tallas de meiofauna durante todo su ciclo de vida (Higgins y Thiel, 1988). A diferencia de los foraminíferos, que se encuentran en el rango de tallas de la meiofauna y de los cuales se ha registrado una amplia diversidad (Cardich et al, 2011). Así, resulta práctico adoptar este criterio para el estudio de los organismos bentónicos.

En general se considera que los organismos de la meiofauna son demasiado grandes para vivir adheridos a partículas de sedimento o tapizándolas, como es el caso de la microfauna, y demasiado pequeños para manipularlas como en el caso de la megafauna. Por esta razón a la meiofauna también se le conoce como fauna intersticial, la cual se encuentra adaptada para vivir en los espacios entre las partículas del sedimento marino (Giere, 2009). Estos organismos, están asociados a procesos bentónicos de remineralización e incorporación de carbono orgánico como biomasa, que pueden alcanzar valores mayores a los registrados para la macrofauna, en particular, en ecosistemas que presentan una razón de biomasa macrofauna: meiofauna aproximada o inferior a 5:1, (Gerlach 1971; Higgins y Thiel 1988).

2.4. Detritus y calidad de la materia orgánica sedimentaria.

Se considera como detritus a las partículas orgánicas muertas pertenecientes a cualquier nivel trófico de un ecosistema, independientemente del tamaño que estas presenten al momento de llegar al fondo marino. Gran parte del detritus encontrado en muestras de sedimento, derivan de organismos muertos del plancton, las cuales pueden depositarse formando una capa de fitodetritus en el fondo marino de zonas costeras, sublitorales y zonas profundas (Riedl, 1971; Berelson et al. 1999; Ólafsson et al. 1999). Estos depósitos orgánicos, aglutinados por secreciones mucosas, mejoran la actividad bacteriana en periodos cortos de tiempo (pocos días o semanas), pudiendo provocar posteriormente, un aumento significativo en la abundancia y biomasa de la meiofauna (Thiel et al. 1988; Vanaverbeke et al. 2004).

Experimentos indican que el detritus no es ingerido indiscriminadamente por la meiofauna (Giere, 2009). El estudio de la composición, así como de las diferentes fuentes de detritus han demostrado ser una herramienta indispensable en el estudio de la ecología de organismos de la meiofauna (Gerlach 1971; Tenore et al., 1982; Ólafsson et al., 1999), especialmente de la nematofauna, debido a que estos organismos presentan altas densidades y una

importancia funcional en la mayoría de los ecosistemas bentónicos. Algunas publicaciones reportan que en el Atlántico NE los nematodos pueden contribuir entre 6,5-12,7% de la respiración bentónica entre 200-2000m de profundidad (Soetaert, 1997) y en lugares más someros pueden llegar a contribuir hasta el 97% del metabolismo total del detritus que se deposita en el sedimento (Warwick, 1979).

Las aproximaciones cuantitativas ligadas a la composición bioquímica de la materia orgánica, han mostrado ser de mayor utilidad ecológica que las aproximaciones globales, pues estas suelen ser débiles indicadores de calidad de hábitat bentónico (Watlin, 1991).

La calidad de materia orgánica puede ser medida tomando en cuenta la cantidad de carbohidratos (Dubois et al. 1956; Taylor y Paterson, 1998), lípidos (Barnes y Blackstock, 1973; Greiser y Faubel, 1988) y proteínas (Lowry et al., 1951; Bradford, 1876; Rice, 1982) presentes en el sedimento marino. La comparación entre estos componentes y el carbono orgánico total puede permitir estimar la fracción biodisponible y potencialmente utilizable como alimento de la fauna bentónica (Relexans et al. 1996; Danovaro et al., 1993; Colombo et al., 1996).

2.5. Ecología de la meiofauna metazoaria en zonas deficientes de oxígeno.

Diferentes investigadores (Neira et al., 2001a; Neira et al., 2001b; Sellanes, 2002, Levin, 2003, Gutiérrez et al., 2008) han estudiado la composición de la fauna bentónica, dando especial importancia a la estructura de la comunidad del meiobentos así como a los factores que podrían limitar su distribución, diversidad y estructura trófica, enfatizando su rol en el flujo de energía dentro del subsistema influenciado por la ZMO dentro de la plataforma continental del Pacífico Sur Oriental.

El meiobentos en las ZMO, está compuesto principalmente por nematodos (Sellanes, 2002), organismos de vida libre, cosmopolitas, de ciclo de vida corto y de gran resistencia al estrés ambiental (condiciones de anoxia) (Neira et al., 2001a; Neira et al., 2001b, De Lara et al., 2003). Si bien el mantenimiento del meiobentos en condiciones límite (Anoxia) es energéticamente costosa (González y Quiñones, 2000), este es compensado con el alto valor nutricional de la materia orgánica contenida en los sedimentos marinos. (Sellanes et al., 1999; Cook et al., 2000; Neira et al., 2001a).

En ambientes propicios, los nematodos pueden encontrarse en densidades de hasta miles de millones de individuos por hectárea (De Lara et al., 2003). El tamaño y la forma de estos animales se deben a adaptaciones de supervivencia dentro del hábitat, ya que en espacios intersticiales se necesita de cuerpos delgados y alargados y de extremos gradualmente aguzados para facilitar la motilidad en el sedimento areno-fangoso. (Giere, 2009). Las especies predadoras pueden alimentarse de rotíferos, tardígrados, pequeños poliquetos y otros nematodos sin embargo, pueden llegar a ser presa de crustáceos, anélidos y peces que coexisten en el bentos (Giere, 2009).

Los nematodos no predadores se alimentan principalmente de bacterias, hongos y algas, componentes principales del detritus, pudiendo así ser clasificados como organismos saprozoicos, interviniendo directamente en la degradación de la materia orgánica para el cumplimiento de los ciclos biogeoquímicos en diversos sistemas marino costeros (De Lara et al., 2003). Cambios en la cantidad y calidad de la materia orgánica pueden variar la composición, densidad y distribución no solo de la nematofauna, sino de la meiofauna en general (Ólafsson et al., 1999), pues se ha demostrado experimentalmente que dosis intermedias de enriquecimiento orgánico (carbohidratos, lípidos y proteínas), propician un aumento significativo en densidad, biomasa y productividad secundaria del meiobentos (Merdernach, 2000; Sellanes, 2002; Austen y Widdicombe, 2006).

En la presente investigación se estudian las condiciones hidrográficas, fisicoquímicas y biogeoquímicas en la plataforma continental frente a Callao para determinar los efectos de estas condiciones sobre la estructura comunitaria de la meiofauna metazoaria.

3. Hipótesis.

Se propone la hipótesis general de que en lugares deficientes de oxígeno y con alta sedimentación de materia orgánica, donde predominan organismos adaptados a estas condiciones (nemátodos), la calidad de materia orgánica en el sedimento juega un rol importante en la estructura (abundancia y biomasa) y función (flujo energético) de la comunidad de la meiofauna metazoaria.

4. Objetivos.

Determinar si la composición bioquímica de la materia orgánica sedimentaria, cuantificada mediante sus principales descriptores (carbohidratos, lípidos y proteínas) influye sobre la abundancia, biomasa y función (flujo energético en términos de producción secundaria y respiración) del meiobentos metazoario dentro del subsistema bentónico.

Además, se plantearon los siguientes objetivos secundarios:

1. Estimar la calidad de la materia orgánica sedimentaria a través de las concentraciones de carbohidratos, lípidos y proteínas en los sedimentos de la plataforma continental y determinar su distribución espacial.

2. Estimar la concentración de los pigmentos cloroplásticos en la columna de sedimento (Cl-a y feopigmentos) de la plataforma continental y determinar su distribución espacial.

3. Determinar la abundancia, biomasa y composición taxonómica a nivel de grandes grupos de la comunidad del meiobentos metazoario.

4. Estimar el flujo energético en términos de producción secundaria y respiración de la comunidad del meiobentos metazoario.

5. Estimar la abundancia, biomasa y composición taxonómica de la fauna bentónica asociada (macrofauna y foraminíferos bentónicos).

6. Determinar los efectos del oxígeno disuelto de fondo sobre la comunidad del meiobentos metazoario.

5. Materiales y Métodos.

5.1. Diseño del Muestreo.

Con el objeto de someter a prueba las hipótesis planteadas, se estudiaron las condiciones hidrográficas en la columna de agua, condiciones fisicoquímicas en el sedimento, calidad de materia orgánica sedimentaria, y se analizó cualitativa y cuantitativamente a la meiofauna a nivel de grandes grupos taxonómicos en la plataforma continental frente al Callao (Tabla 1). Se seleccionaron cinco estaciones (E1, E2, E3, E4, E5), en un área que constituye una gradiente batimétrico natural inserto dentro de la ZMO. Esta zona está caracterizada por ser una de las regiones de más alta producción biológica de la costa (Figura 2). Se investigaron entonces, los cambios físicos, biogeoquímicos y biológicos en la columna de agua y en los sedimentos asociados al subsistema bentónico.

El muestreo se llevó a cabo a bordo de la embarcación B.I.C “José Olaya Balandra” en el Crucero Intensivo Oceanográfico (CRIO) del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) durante el mes de Abril del año 2010, en las cinco estaciones que componen el transepto batimétrico frente a Callao. Se colectaron datos de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y clorofila-a en la columna de agua (Hidroquímica), además de muestras de sedimento marino para análisis de meiofauna, macrofauna, bacterias y de contenidos de carbohidratos, lípidos y proteínas.

5.2. Hidrografía.

Los parámetros hidrofísicos de temperatura y salinidad, se estimaron con un CTD SBE para las cinco estaciones de muestreo. Las muestras de agua de fondo fueron colectadas con botellas Niskin de acuerdo a la profundidad del punto de muestreo para la determinación de contenido del oxígeno disuelto, siguiendo el tratamiento de fijación y titulación de manera inmediata por el método tradicional de Winkler modificado por Carpenter (Strickland y Parsons, 1972).

Tabla 1. Profundidad, distancia a la costa y posición geográfica de las cinco estaciones de muestreo.

Estación	Profundidad (m)	Distancia a la costa (millas)	Latitud (S)	Longitud (W)	Ubicación
1	48	3	12° 01,985'	77° 22,325'	Plataforma contiental interior (p.c.i.)
2	93	8	12° 02,716'	77° 27,060'	Plataforma contiental interior (p.c.i.)
3	117	13	12° 03,348	77° 38,472'	Plataforma contiental media (p.c.m.)
4	143	20	12° 05,926	77° 49,059'	Plataforma contiental exterior (p.c.e.)
5	178	30	12° 06, 426'	77° 58,043'	Plataforma contiental exterior (p.c.e.)

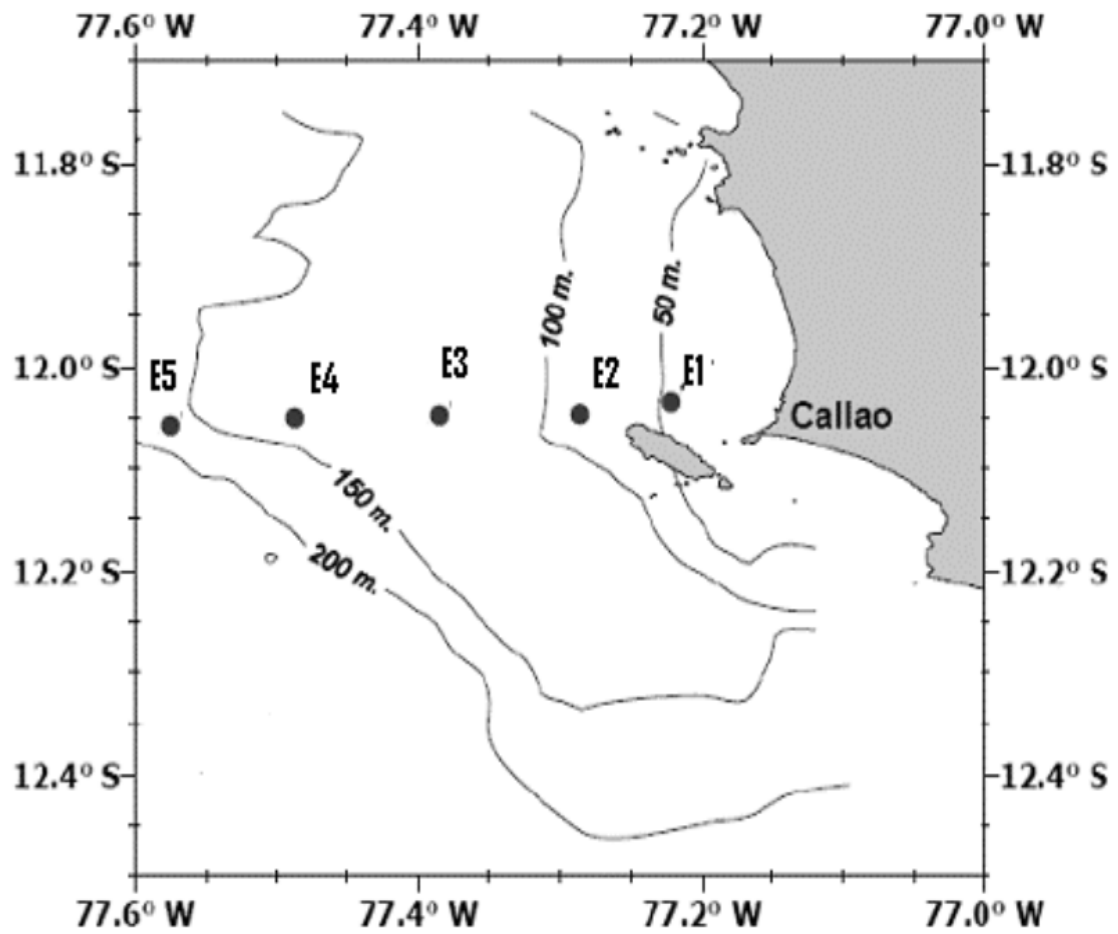


Figura 2. Localización de los cinco sitios de muestreo. E1 y E2 (plataforma continental interior); E3 (plataforma continental media); E4 y E5 (plataforma continental exterior).

5.3. Muestreo de sedimentos y comunidades.

Las muestras de sedimento fueron tomadas utilizando un multisacatestigos de 4 tubos marca Oktopus ®. La profundidad de penetración en el sedimento fue siempre de al menos 20cm y sólo se utilizaron los testigos que no presentaron evidencias de resuspensión de sedimento o de alteraciones durante el procedimiento de muestreo. El contenido de agua se calculó como la razón entre el peso de agua en el sedimento en relación al peso del sedimento húmedo.

5.3.1. Pigmentos fotosintéticos, carbohidratos, lípidos y proteínas.

Para los análisis de clorofila-a (Cl-a), feopigmentos así como el de los principales indicadores bioquímicos de calidad de materia orgánica (carbohidratos, lípidos y proteínas), se utilizaron muestras extraídas de subtestigos, los cuales fueron seccionados centímetro a centímetro hasta completar 10cm de columna de sedimento, estas secciones fueron congeladas a -70°C hasta su análisis.

5.3.2. Meiofauna metazoaria, meiofauna protozoaria y macrobentos.

El meibentos se muestreó por triplicado con el Multisacatestigos (MUC), Cada testigo de colecta se submuestreó con un tubo de plexiglás pequeño de 3.6 cm. de diámetro, seccionándose verticalmente cada testigo. Las secciones verticales fueron: (0-1) cm., (1-2) cm., (2-5) cm. y (5-10) cm. Inmediatamente después de realizar los cortes, se traspasó cada sección de sedimento a frascos rotulados agregándosele 20ml. de $MgCl_2$, formol al 10% y colorante Rosa de Bengala, saturando la solución con tetraborato de sodio (Bórax) (Feller y Warwick, 1988).

El muestreo de la meiofauna protozoaria (foraminíferos bentónicos) se realizó con el MUC, teniendo en cuenta las recomendaciones del protocolo descrito por Rathburn y Corliss (1994), siguiendo el mismo criterio de muestreo utilizado para la meiofauna metazoaria.

Para la colecta de muestra de macrofauna, se utilizó una draga Van Veen de $0,05m^2$. En cada estación se tomaron muestras por triplicado traspasando cada muestra a través de una bolsa tamizadora de $500\mu m$. El material retenido en el tamiz fue guardado en frascos que contenían 20ml de formol al 10% saturando la solución con Bórax (Holme y McIntyre, 1971).

5.4. Análisis y estimación de la composición bioquímica del sedimento.

La determinación de las concentraciones de Cl-a y feopigmentos en el sedimento se realizó mediante fluorimetría, expresadas en $\mu\text{g.g}^{-1}$ de acuerdo a la metodología explicada en Gutiérrez (2000) (Lorenzen y Jeffrey, 1980) (Figura 3).

La composición de carbohidratos, lípidos y proteínas fue analizada siguiendo los protocolos citados a continuación, previa homogenización y liofilización de la muestra. Se calculó previamente una curva de calibración (Figura 4, 5 y 6) para cada tipo de análisis con el objeto de determinar las concentraciones en mg.g^{-1} de carbohidratos, lípidos y proteínas presentes en la muestra de sedimento.

5.4.1. Carbohidratos Totales.

Para el análisis de carbohidratos totales se midieron las concentraciones presentes en las muestras colectadas de acuerdo con el método colorimétrico de Dubois et al. (1956) (Anexo 2). Este método se basa en una deshidratación de azúcares en derivados furfúricos (en presencia de ácido sulfúrico) y una posterior condensación con fenol, lo que produce una coloración rosa salmón. La intensidad de esta coloración se mide por espectrofotometría a 490nm (Figura 4).

5.4.2. Lípidos Totales.

Las concentraciones de lípidos totales en las muestras colectadas fueron determinadas por el método colorimétrico de Barnes y Blackstock (1973) (Anexo 3). Este método se basa en la formación de un complejo de ácido sulfúrico, ácido fosfórico y vanillina a partir de la reacción con los lípidos. La intensidad de la coloración se mide por espectrofotometría a 520nm (Figura 5).

5.4.3. Proteínas Totales.

Para el análisis de proteínas totales, se midieron las concentraciones presentes en las muestras de sedimento de acuerdo con el método colorimétrico de Lowry et al. (1951), modificado por Rice (1982) (Anexo 1) para compensar la interferencia entre compuestos fenólicos y el reactivo de fenol (Folin). Este método se basa en la capacidad del complejo proteína-cobre en reducir el índice del reactivo de Folin mostrando una coloración azul. La intensidad de la coloración se mide por espectrofotometría a 750nm (Figura 6).

5.4.4. Estimación de la fracción Lábil de la materia orgánica.

Una fracción importante de la concentración de la materia orgánica en la columna de sedimento escapa de la degradación en la escala temporal de semanas a meses, denominándosele fracción refractaria (Sun et al., 1993). En el presente estudio, esta fracción potencialmente refractaria, será denominada como la fracción *Background* de la concentración de la materia orgánica en términos de Cl-a, carbohidratos (CHO), lípidos (LIP) y proteínas (PRT). La distribución vertical de esta fracción *Background*, bajo condiciones anóxicas no tiende a agotarse en su totalidad, sino que tiende a estabilizarse con la profundidad en la columna de sedimento a un valor constante.

Por otro lado, la fracción potencialmente lábil de la materia orgánica es aquella que es biodegradada con mayor rapidez en los centímetros superficiales de sedimento y presenta una mayor probabilidad de ser utilizada por los organismos que habitan en el sedimento. En adelante, esta fracción potencialmente lábil, será denominada como la fracción lábil de la concentración de la materia orgánica en términos de Cl-a, CHO, LIP y PRT. Esta fracción lábil se calculó sustrayendo los valores *Background* de la concentración total de Cl-a, CHO, LIP y PRT obtenida en cada nivel de la columna de sedimento.

Para ello se calculó un índice a partir de la serie de valores más bajos dentro del perfil (representando valores *Background* de la materia orgánica) que no fuesen significativamente diferentes entre sí (± 1 SD), de acuerdo al ajuste explicado en Gutiérrez, (2000).

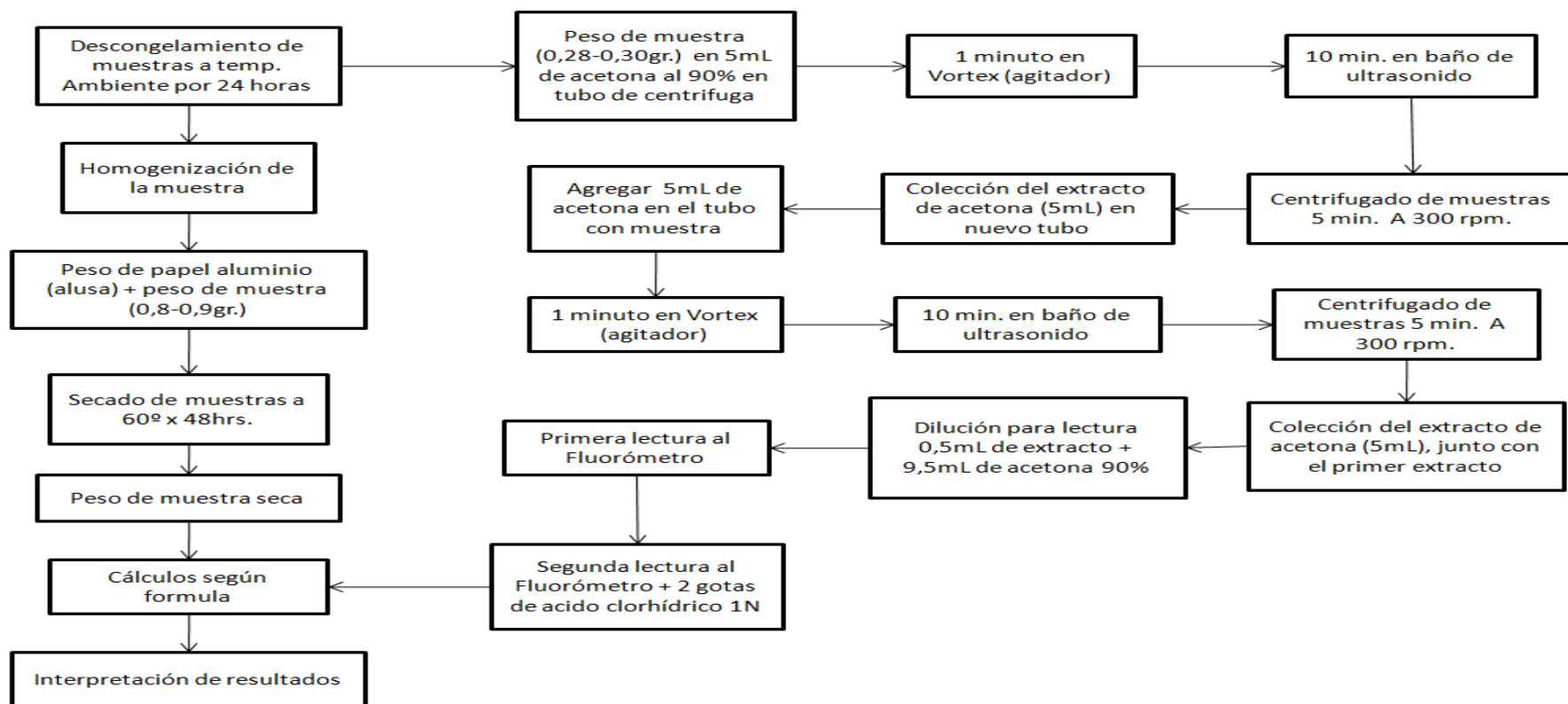
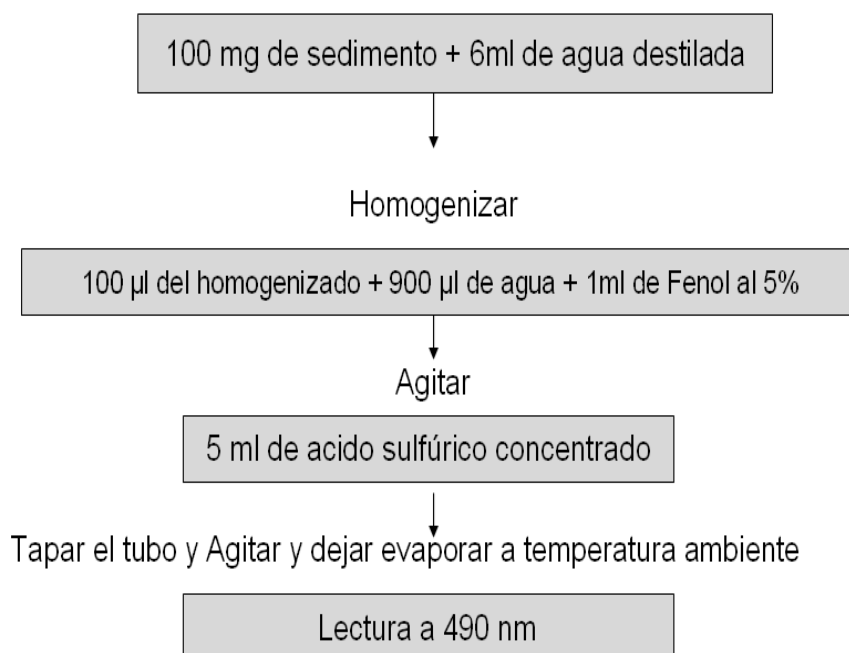


Figura 3. Cuadro de flujo para determinación de contenido de clorofila a (Cl-a) en sedimento marino. (Gutiérrez, 2000).

Determinación de Carbohidratos Totales (Dubois et al. 1956)



Solución estándar de glucosa : 200 µg de glucosa/ml de agua destilada

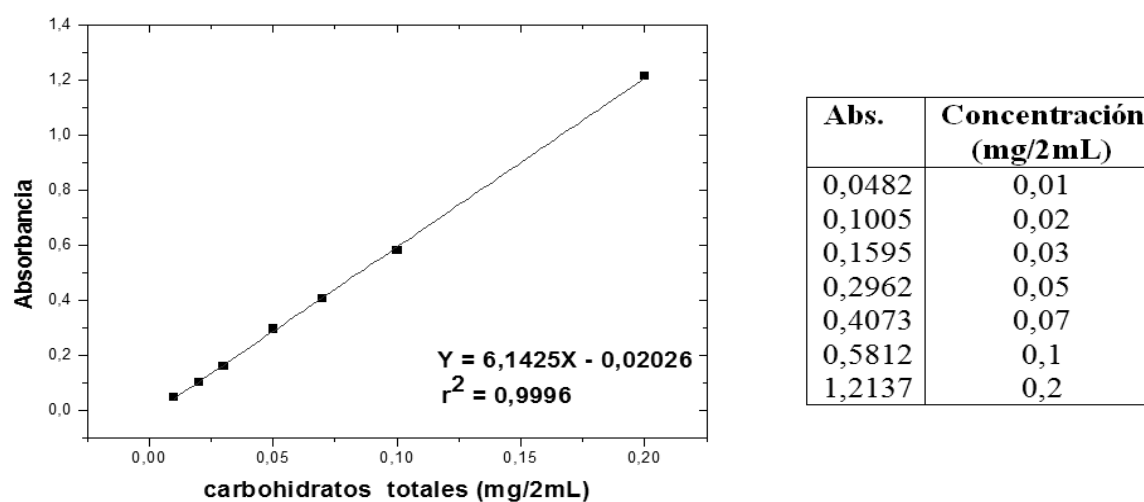
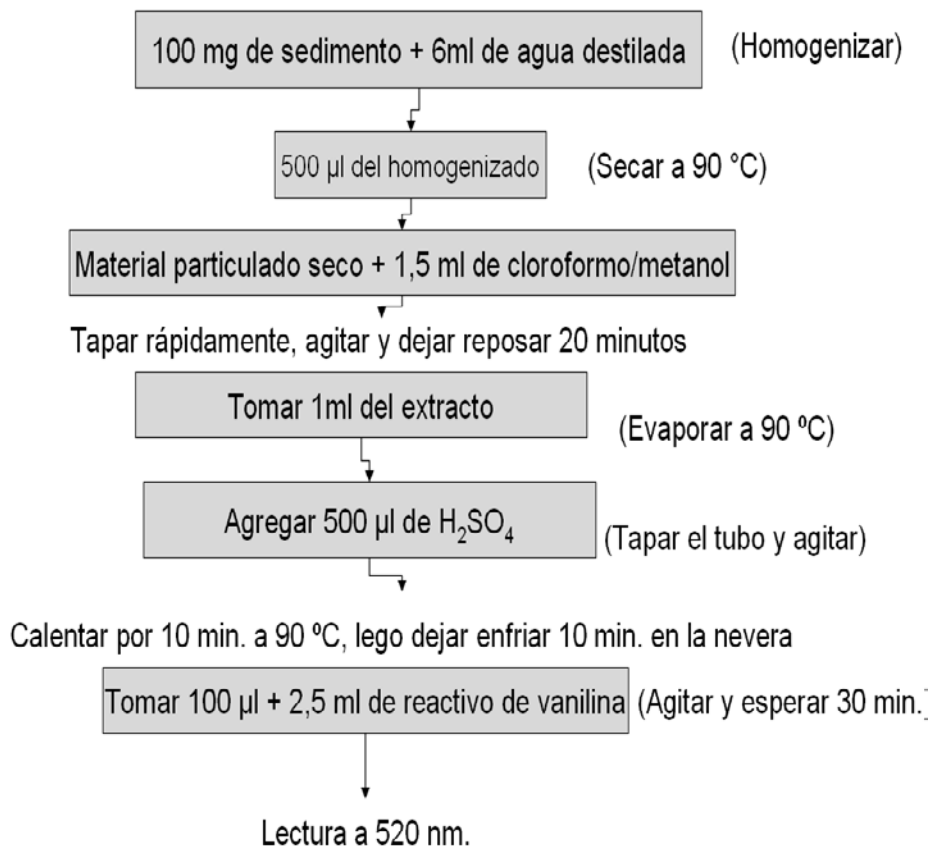


Figura 4. Cuadro de flujo para determinación del contenido de carbohidratos totales en sedimento, modificado de (Dubois et al., 1956) y su respectiva curva de calibración.

Determinación de Lípidos Totales (Barnes et blackstock. 1973)



Solución estándar de colesterol : 0,8 mg. de colesterol / ml (cloroformo / metanol (2:1))

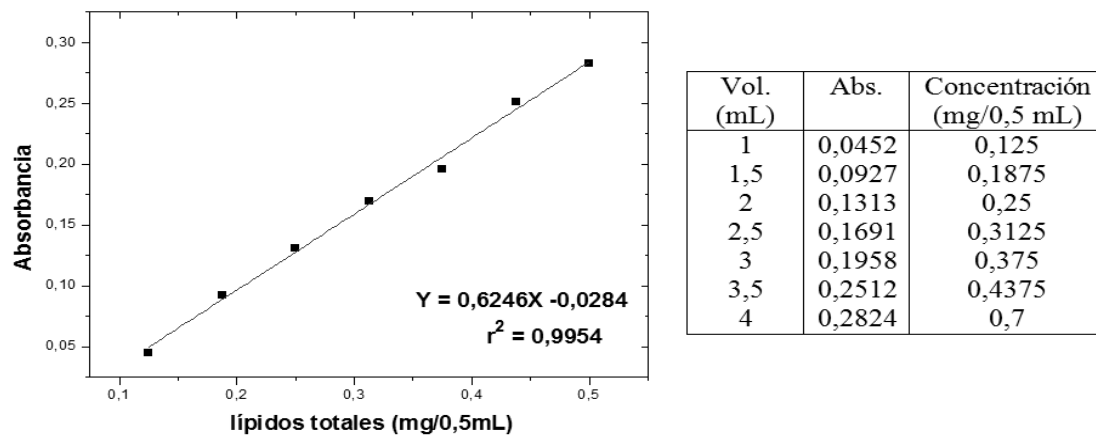


Figura 5. Cuadro de flujo para determinación del contenido de lípidos totales en sedimento, modificado de (Barnes y Blackstock, 1973) y su respectiva curva de calibración.

Determinación de Proteínas Totales (Lowry et al., 1951, modificado por Rice, 1982)

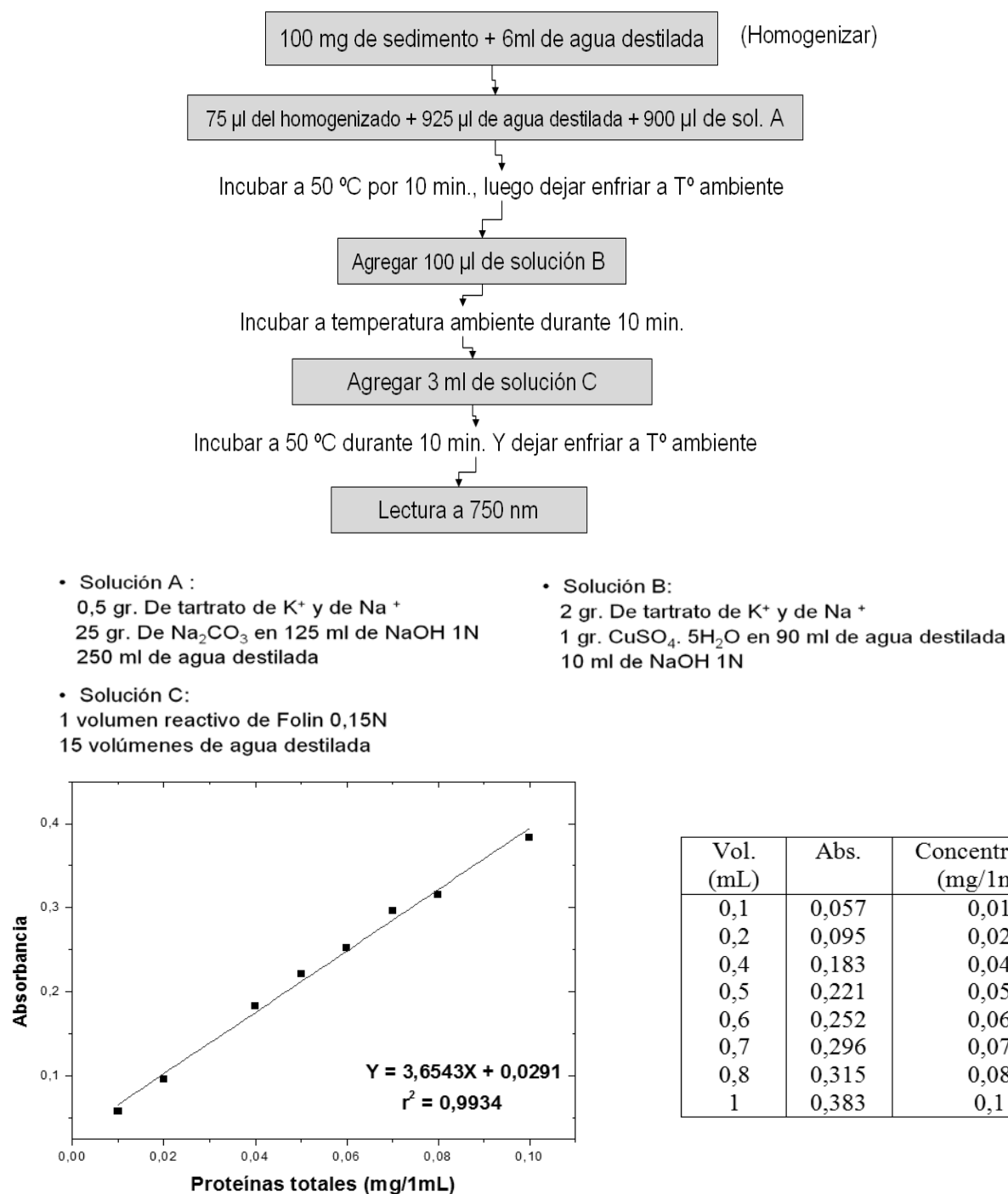


Figura 6. Cuadro de flujo para determinación del contenido de proteínas totales en sedimento, modificado de (Lowry et al. 1951) modificado por Rice (1982) y su respectiva curva de calibración.

5.5. Análisis biológicos y estimación de parámetros comunitarios.

5.5.1. Meiofauna.

Las muestras colectadas fueron analizadas en el laboratorio sometiéndolas previamente a un baño de ultrasonido durante 15 segundos. Este baño tuvo la finalidad de disgregar partículas de sedimento y liberar organismos que queden adheridos a ellas.

Se precedió al lavado de muestras mediante el método de resuspensión y decantación propuesto por Wieser (1960) (Figura 7). Se procedió a lavar cada muestra usando un tamiz de 500 μ m de abertura de malla para separar la macrofauna y otro de 45 μ m para separar la meiofauna. La muestra retenida en el tamiz de 45 μ m se traspasó a una probeta de 1000ml y se enrasó con agua hasta completar 900ml. Se homogenizó el contenido agitándolo para que ocurriese una adecuada resuspensión. Una vez resuspendido el sedimento en la probeta, se vertió la muestra en el tamiz de 45 μ m en el cual quedaron retenidos los organismos del meiobentos. Este lavado se repitió 7 veces para asegurar que el 95% de organismos sea extraído exitosamente. Los organismos extraídos se traspasaron a un frasco y fueron teñidos con Rosa de Bengala. Dos días después se procedió al análisis.

5.5.1.1. Abundancia.

Para el conteo de la meiofauna metazoaria se usó una placa de Petri dividida en ocho porciones iguales, utilizando un estereoscopio. Para el conteo de la meiofauna protozoaria se usó una placa de Petri dividida en áreas cuadradas iguales para luego realizar la extrapolación en abundancia y número de especies.

5.5.1.2. Biomasa.

Para el cálculo de la biomasa de la meiofauna metazoaria, se trabajó por separado para cada taxón encontrado. Se tomaron datos de longitud y ancho del 10% de individuos encontrados por cada grupo taxonómico en cada replica analizada con la finalidad de obtener un valor de comparación robusto.

Las medidas fueron tomadas usando una lupa estereoscópica (8x de aumento) y transformadas a milímetros mediante una lámina de conversión estereoscópica. En este estudio se obtuvo la equivalencia de una unidad estereoscópica representada en 0.125mm. Luego para el cálculo del biovolumen se aplicó la fórmula propuesta por Andrassy (1956):

$$V = C * L * W^2$$

Donde V es el volumen en nanolitros (nl), C es una constante (distinta para cada taxón), L es el largo del organismo y W el ancho del organismo, estas dos últimas medidas fueron obtenidas en milímetros (mm). Los valores de la constante C (Tabla 2) se obtuvieron del protocolo propuesto por Feller y Warwick (1988). El biovolumen obtenido se convirtió a peso húmedo en microgramos (ug), multiplicándolo por la gravedad específica del organismo ($1,13 \text{ gcm}^{-3}$). Para llegar a la obtención de biomasa se transformó el peso húmedo de microgramos a miligramos para luego ser multiplicado por el factor 0.124 y transformarlo a miligramos de carbono (mgC) siguiendo el protocolo propuesto por Brey (2001).

5.5.1.3. Producción Secundaria.

La producción secundaria (P) de la meiofauna metazoaria fué estimada mediante el modelo de Tumbiolo y Downing (1994), dando una aproximación de variación de biomasa en función al tiempo, siendo uno de los indicadores más importantes de estimación de productividad total en el sistema (Greze, 1978):

$$\text{Log } P = 0,18 + 0,97 \log B - 0,22 \log W_m + 0,04 T_f - 0,014 T_f \log (Z+1)$$

En la formula, P es la producción en gramos por metro cuadrado por año ($\text{m}^{-2}\text{a}^{-1}$), B es la biomasa en miligramos (peso seco), Wm es la máxima masa corporal de cada taxón en miligramos (peso seco), Tf es la temperatura del agua de fondo en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$) y Z es la profundidad de la estación en metros.

La respiración total de la meiofauna metazoaria (Rt) se estimó a través de la ecuación propuesta por Schwinghamer et al. (1986):

$$\text{Log}_{10} R_t = 0,367 + 0,993 \log_{10} P$$

En la formula, Rt es la respiración total y P es la producción de la meiofauna, ambos en metro cuadrado por año ($\text{m}^{-2}\text{a}^{-1}$) (Banse y Mosher, 1980). Los valores de biomasa, producción secundaria y respiración fueron expresados en gramos de carbono por metro cuadrado (g C m^{-2}) de acuerdo a los factores de conversión propuestos por Brey (2001).

Tabla 2. Factor de conversión para calculo de biovolumen (nl)
de diferentes taxones usando la ecuación $V=LW^2C$.
(Feller y Warwick, 1988).

<i>Taxon</i>	<i>Factor de Conversión (C)</i>
Bivalvia	450
Cnidaria	385
Copepoda	485
Gastrotrichia	550
Nematoda	530
Nemertea	560
Polychaeta	530

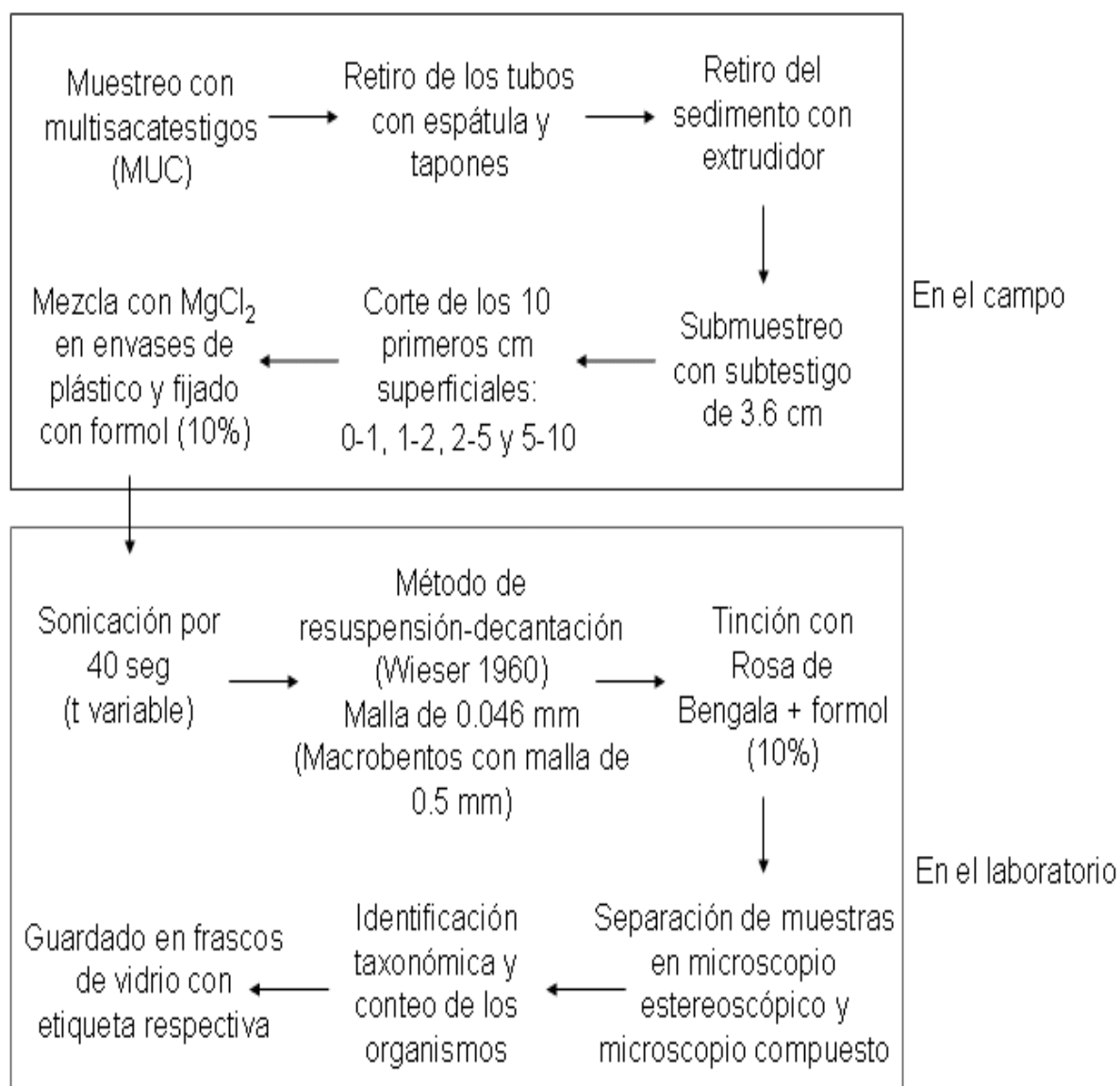


Figura 7. Cuadro de flujo para el muestreo y análisis de la meiofauna.

5.5.2. Macrofauna.

5.5.2.1. Abundancia.

Las muestras obtenidas en el campo fueron analizadas siguiendo el protocolo empleado por Gutiérrez (2000); el cual consistió en el lavado de muestras con agua a través de un tamiz de 500µm de abertura de malla con la finalidad de quitar el exceso de formalina, sedimento e impurezas de la muestra. Se traspasó la muestra retenida en el tamiz a una placa de Petri para ser cuantificada bajo lupa estereoscópica (Figura 8).

5.5.2.2. Biomasa.

Para la obtención de la biomasa de la macrofauna, se procedió a medir el peso húmedo de las especies identificadas en una balanza analítica de precisión, transformando el resultado obtenido a gramos de carbono por metro cuadrado (gC.m^{-2}) según el protocolo establecido por Brey et al., (1988) (Tabla 3).

Tabla 3. Factores de conversión para transformar valores de peso húmedo, a peso seco libre de ceniza (*AFDW*) y carbono orgánico (Brey et al., 1988).

	<i>Peso húmedo a AFDW</i>	<i>AFDW a Carbono orgánico</i>
Bivalvia	0.030	0.518
Mollusca	0.143	0.518
Crustacea	0.156	0.518
Polychaeta	0.157	0.518
Gastropoda	0.587	0.518

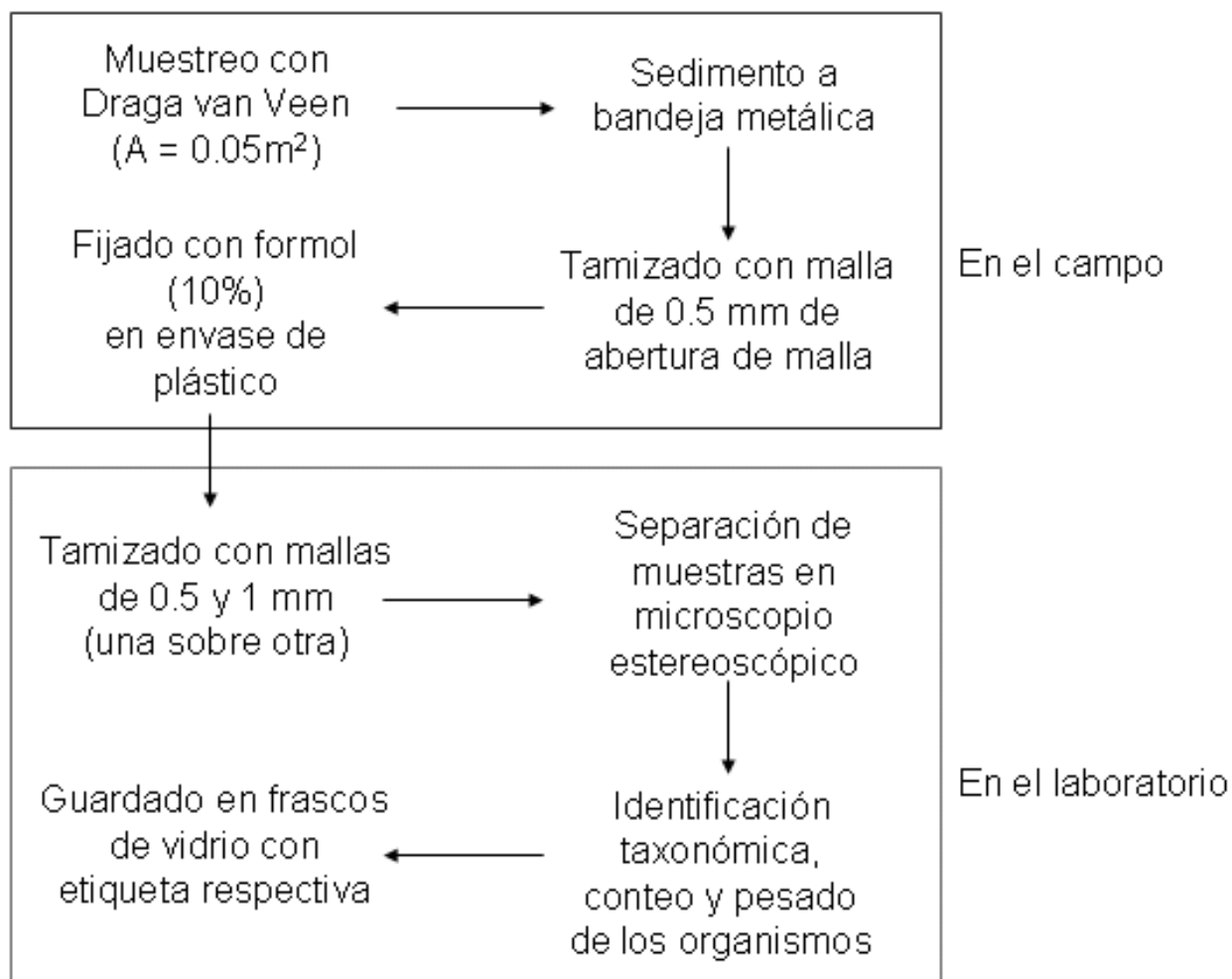


Figura 8. Cuadro de flujo para el muestreo y análisis de la macrofauna.

5.6. Análisis Estadístico.

Las variaciones espaciales de los parámetros fisicoquímicos, biogeoquímicos y biológicos fueron evaluados mediante el análisis de varianza no paramétrico Kruskal-wallis ($\alpha=0.1$). Se consideró el uso de este estadístico por el número de datos, por las características de no normalidad y no homocedasticidad de las variables (Medernach, 2000; Sellanes, 2002). Para evaluar la relación entre las distintas variables sedimentarias y biológicas se realizaron correlaciones de rango de Spearman (Kendall, 1970).

Para analizar gráficamente la relación entre sitios dentro del gradiente batimétrico, se utilizó el índice de similitud de Bray-Curtis (Dillon y Goldstein, 1984). Los análisis se realizaron con el programa estadístico PASW 18 (SPSS Inc.) y PRIMER 6.0.

6. Resultados.

6.1. Hidrografía.

6.1.1. Temperatura.

Con respecto a la distribución espacial de las variables oceanográficas durante el periodo de muestreo (Figura 9), el rango de temperatura superficial del mar varió de entre 17.8 (E1) y 18.5°C (E5), obteniéndose un valor de temperatura superficial del mar promedio de 18.2 °C para la transecta oceanográfica. Las dos estaciones más someras, fueron las que presentaron menores temperaturas en superficie, mientras que en las restantes, se registraron los mayores valores. La temperatura de fondo mostró una mínima de 14.29 °C para la estación E5 y una máxima de 16.66 °C para la estación E1. La evolución de la temperatura de fondo fue diferente, ya que los mayores valores de temperatura de registraron en la estación E1 y E2, siendo estas las más someras, y las menores en la estación E3, E4 y E5 ubicadas entre la plataforma intermedia y exterior (Tabla 4).

6.1.2. Salinidad.

La salinidad en superficie se mantuvo casi constante en los cinco sitios de muestreo, registrándose una mínima de 35.04 para la estación E4 y un máximo de 35.12 para la estación E3. No se percibió una tendencia clara de salinidad en el fondo, registrándose un mínimo de 35.00 para la estación E5 y un máximo de 35.10 para la estación E4 (Tabla 4).

6.1.3. Oxígeno disuelto.

El oxígeno disuelto (OD) superficial, mostró concentraciones mínimas de 2.89 ml.l^{-1} para la E1 y máximas de 3.88 ml.l^{-1} para las estaciones más profundas E4 y E5. El OD de fondo tuvo una mínima concentración de 0.09 ml.l^{-1} para la estación E4 y una máxima de 0.28 ml.l^{-1} para la estación E1 (Tabla 4).

Tabla 4. Condiciones oceanográficas en superficie y fondo en los cruceros realizados en Abril del año 2010. Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad y oxígeno disuelto (OD).

Abril - 2010	Estación	Superficie	Fondo
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	E1	17.851	16.660
	E2	17.994	16.348
	E3	18.252	15.816
	E4	18.458	15.004
	E5	18.507	14.293
Salinidad	E1	35.102	35.073
	E2	35.064	35.069
	E3	35.118	35.062
	E4	35.041	35.096
	E5	35.105	35.000
OD ml.l^{-1}	E1	2.893	0.284
	E2	3.754	0.131
	E3	3.845	0.122
	E4	3.885	0.092
	E5	3.884	0.176

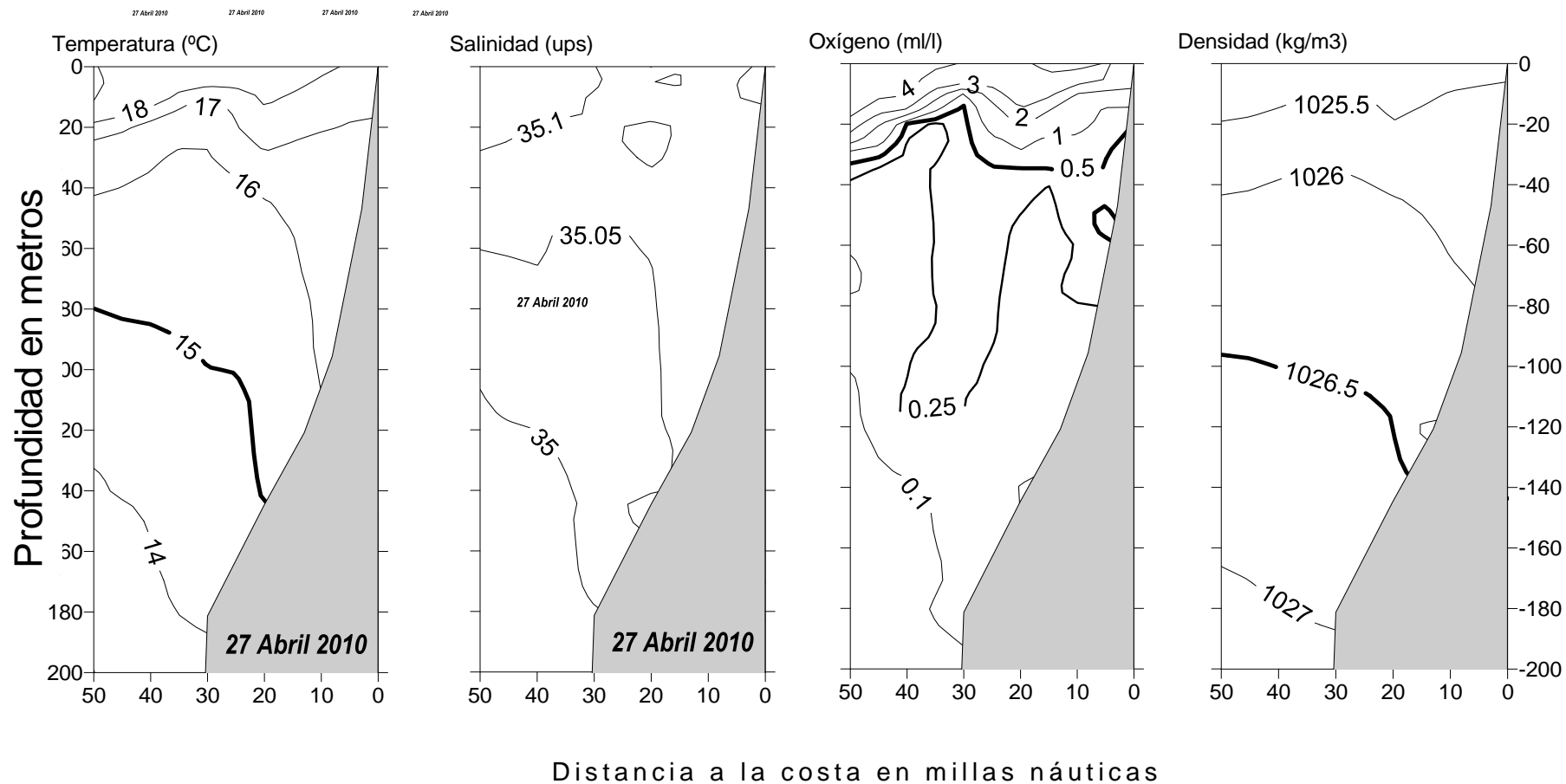


Figura 9. Distribución vertical de los parámetros físicos y químicos en la línea Callao del crucero CRIO 1004, BIC José Olaya (27 de Abril de 2010).

6.2. Parámetros Sedimentarios.

6.2.1. Pigmentos Fotosintéticos.

El contenido total de pigmentos cloroplásticos (Cl-a y feopigmentos) fue utilizado como un indicador instrumental de la cantidad de restos de fitoplancton (fitodetritus) sedimentado en el fondo del mar.

6.2.1.1. Clorofila-a.

Las concentraciones de Cl-a (Tabla 6) y feopigmentos (Tabla 4) y la distribución de estas concentraciones en los 10 primeros centímetros de la columna de sedimento, además de la integración de los valores totales expresados en cm^2 se describen a continuación.

Las concentraciones de Cl-a fueron mayores en el primer centímetro de sedimento en todos los sitios de muestreo. Se observó una tendencia creciente de las concentraciones totales de Cl-a hacia las estaciones más profundas con respecto a las reportadas en las estaciones someras. Se registró un mínimo de $34.19 \pm 6.85 \mu\text{g.g}^{-1}$ en la estación E1 y un máximo valor de $82.64 \pm 5.04 \mu\text{g.g}^{-1}$ en la estación E5 (Tabla 6). El contenido lábil de Cl-a en el primer centímetro presentó el valor mínimo en la estación E3 con

$12,81 \pm 1,25 \mu\text{g.g}^{-1}$ y un máximo valor en la estación E4 con $36,37 \pm 10,51 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Tabla 6). Como dicho anteriormente, la concentración integrada de Cl-a se incrementó hacia las estaciones más profundas, pero la fracción lábil se mantuvo casi constante a lo largo del transepto, con valores de entre $1,58 \mu\text{g.cm}^{-2}$ en la estación E3 y $2,73 \mu\text{g.cm}^{-2}$ en la estación E4 perteneciente a la plataforma externa.

La disminución de las concentraciones de Cl-a con la profundidad del sedimento presentó un gradiente notorio hacia las estaciones más someras (E1 y E2), en comparación al gradiente mostrado en las estaciones profundas (E3, E4 y E5), en las cuales se determinaron valores altos tanto en la capa superficial como en la capa subsuperficial del sedimento. No obstante, siempre existió una tendencia decreciente con la profundidad del sedimento en los 5 sitios de estudio (Figura 10).

6.2.1.2. Feopigmentos.

La distribución espacial de los feopigmentos en la columna de sedimento, tuvo una tendencia parecida a la de la Cl-a. En el primer centímetro de sedimento de la estación E1 se registró un valor mínimo de $157.33 \pm 56.98 \mu\text{g.g}^{-1}$. Por el contrario, para la estación E5 (más profunda), se registró el valor máximo con $580.90 \pm 91.19 \mu\text{g.g}^{-1}$. (Figura 11). Las concentraciones integradas de feopigmentos expresados en

centímetro cuadrado (cm^2) presentaron un valor de $33.54 \mu\text{g}.\text{cm}^{-2}$ en la estación E1 y para la estación E5 se registró un valor de $121,87 \mu\text{g}.\text{cm}^{-2}$. Se observó una tendencia muy similar al de la Cl-a, un aumento de las concentraciones de pigmentos fotosintéticos en las estaciones más profundas localizadas en la plataforma externa con respecto a las estaciones someras localizadas en la plataforma interna (Figura 11). Con respecto a la distribución vertical de los feopigmentos en la columna, se registraron mayores concentraciones en el estrato superficial del sedimento (0-1cm) (Tabla 5); la tendencia a la disminución de las concentraciones con la profundidad del sedimento fue similar a la registrada para la Cl-a (Figura 11).

La razón Cl-a: feopigmentos (Cl-a: feop.), fue utilizada como un indicador de la edad o estado de degradación del fitodetritus en el sedimento (Sellanes, 2002). Los resultados mostraron un cociente mayor para los estratos superficiales en el sedimento, sobre todo en los estratos superficiales de las estaciones más someras (perteneciente a la plataforma interna). Las razones Cl-a: feop no sufrieron una variación espacial estadísticamente significativa (Figura 12) (Tabla 5).

Tabla 5. Concentración de feopigmentos y razón Cl-a: feopigmentos en la columna de sedimento, para las cinco estaciones de muestreo.

	E1	E2	E3	E4	E5
FEOP ug.g-1	Total				
0-1	157.33	481.21	311.49	480.16	580.90
1-2	93.96	203.01	234.51	361.04	358.85
2-3	66.54	194.73	203.00	321.42	348.23
3-4	82.08	225.88	206.53	278.22	358.66
4-5	126.06	161.88	197.11	309.41	349.56
5-6	88.37	217.06	251.52	226.89	312.41
6-7	117.51	133.44	198.04	244.80	326.32
7-8	83.33	150.20	212.43	274.80	281.05
8-9	77.94	123.93	238.64	230.73	354.33
9-10	104.19	84.09	223.20	189.51	353.85

Cla:Feop					
0-1	0.22	0.12	0.14	0.15	0.14
1-2	0.17	0.15	0.14	0.16	0.17
2-3	0.22	0.14	0.14	0.15	0.16
3-4	0.16	0.14	0.16	0.15	0.16
4-5	0.15	0.20	0.15	0.16	0.14
5-6	0.20	0.17	0.15	0.16	0.17
6-7	0.17	0.18	0.16	0.17	0.17
7-8	0.17	0.17	0.18	0.16	0.17
8-9	0.14	0.21	0.17	0.16	0.17
9-10	0.12	0.53	0.17	0.17	0.13

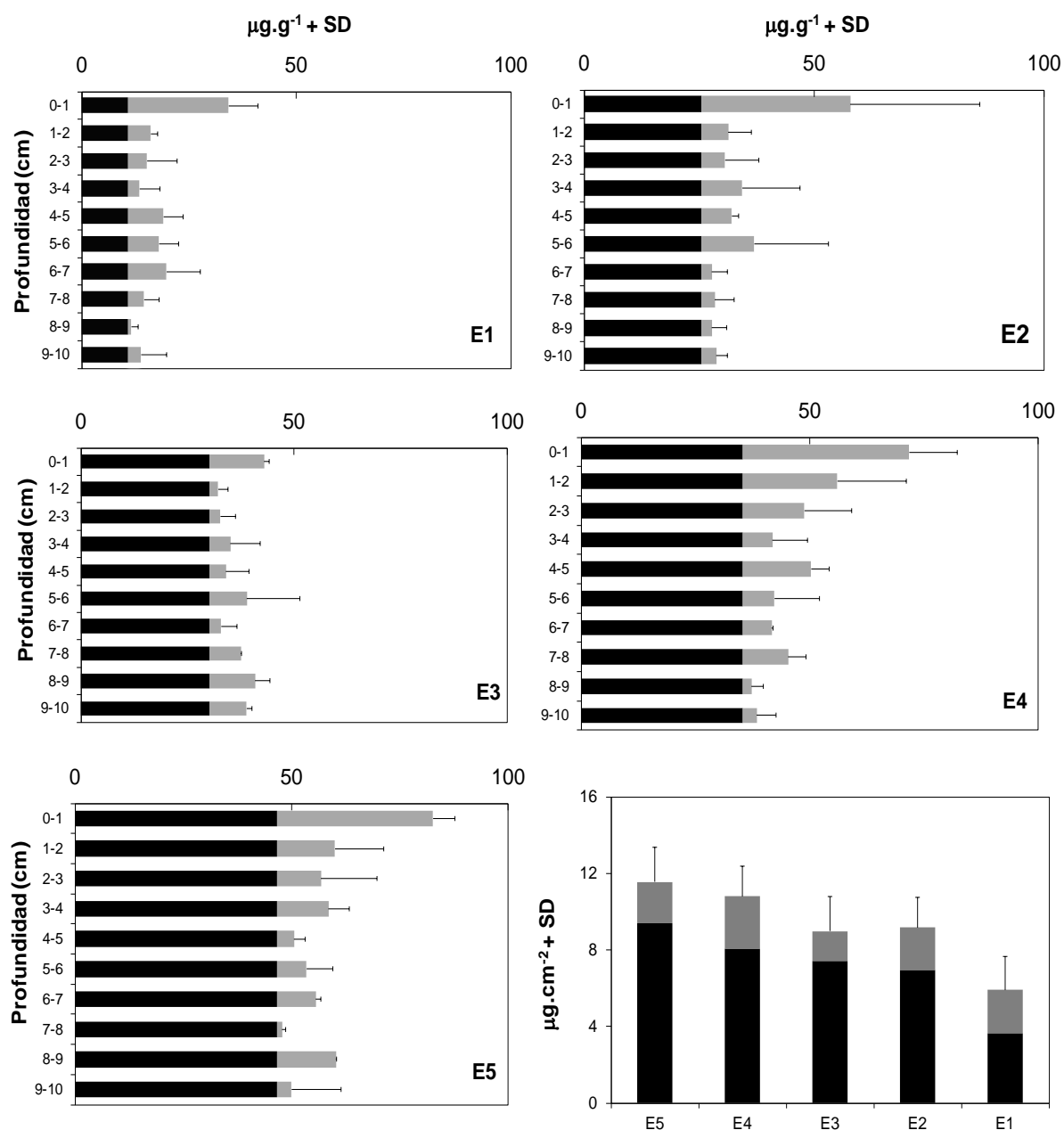


Figura 10. Distribución espacio-vertical ($\mu\text{g.g}^{-1}$) e integrada ($\mu\text{g.cm}^{-2}$) del contenido lábil (Gris) y valor Background (Negro) de Cl-a en la columna de sedimento para las cinco estaciones de muestreo.

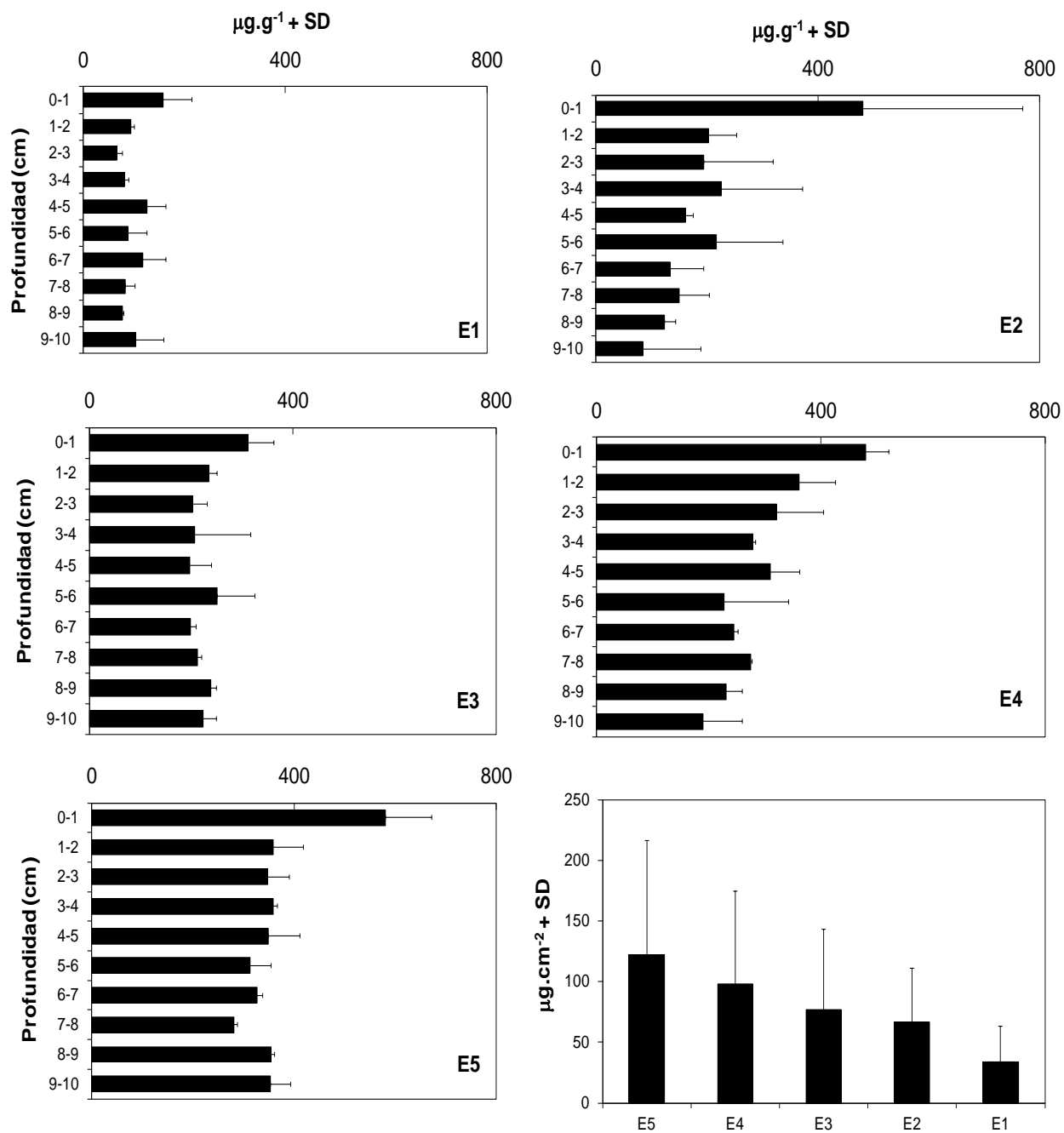


Figura 11. Distribución espacio-vertical ($\mu\text{g.g}^{-1}$) e integrada ($\mu\text{g.cm}^{-2}$) del contenido de feopigmentos totales en la columna de sedimento para las cinco estaciones de muestreo.

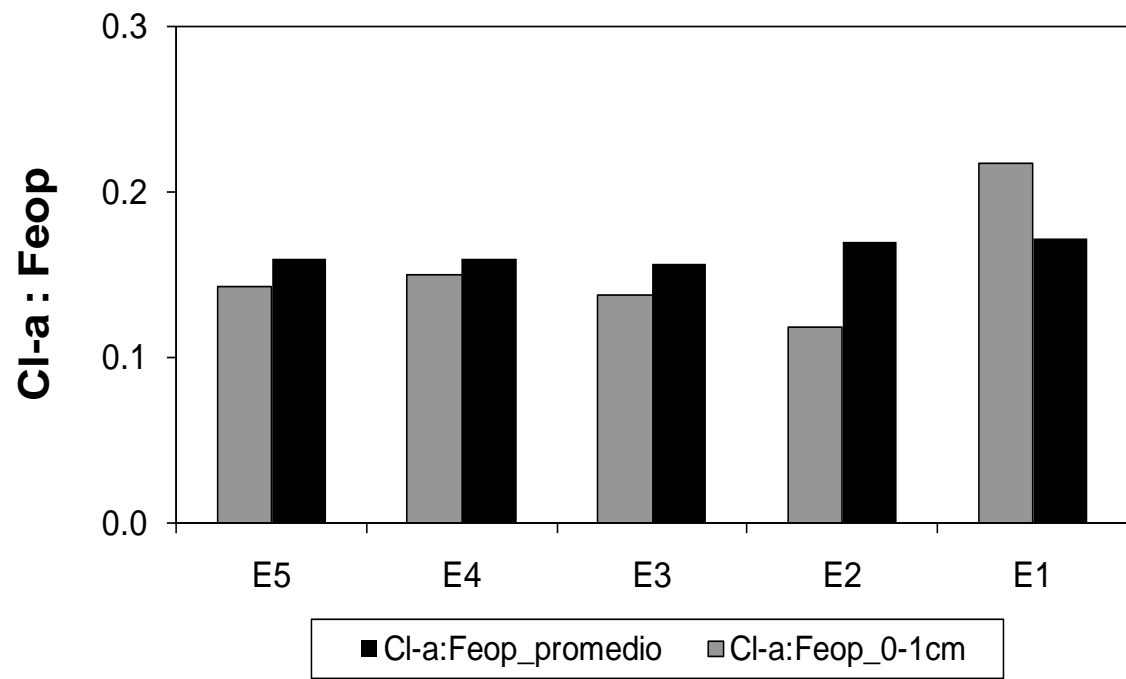


Figura 12. Razones promedio Cl-a:feopigmentos en la columna de sedimento (Negro) y en el primer centímetro de sedimento (Gris) para las cinco estaciones de muestreo.

6.2.2. Composición Bioquímica del Sedimento.

Los carbohidratos (CHO), lípidos (LIP) y proteínas (PRT) fueron utilizados como estimadores de la calidad de la materia orgánica sedimentaria. Las distribuciones espacio-verticales de las concentraciones totales de carbohidratos lípidos, proteínas, así como la fracción lábil de cada uno de ellos se muestra en la tabla 6.

6.2.2.1. Carbohidratos.

La distribución del contenido total de CHO en el primer centímetro de sedimento aumentó de las estaciones someras hacia las estaciones más profundas (Figura 13). Se registró un valor mínimo de $7.38 \pm 1.00 \text{ mg.gr}^{-1}$ en la estación E1 y un valor máximo de $20.35 \pm 2.35 \text{ mg.gr}^{-1}$ en la estación E5. El contenido lábil de CHO en el primer centímetro de sedimento presentó la menor concentración en la estación E2 con $2,52 \pm 0,04 \text{ mg.gr}^{-1}$ y un valor máximo de $6,30 \pm 2,35 \text{ mg.gr}^{-1}$ en la estación E5 (Tabla 6). La concentración integrada de CHO en la columna de sedimento se incrementó hacia las estaciones profundas. El contenido lábil integrado presentó el menor valor en la estación E3 con $0,20 \pm 0,1 \text{ mg.cm}^{-2}$. El mayor valor integrado fue de $0,79 \pm 0,08 \text{ mg.cm}^{-2}$ registrado en la estación E1, seguido de $0,64 \pm 0,1 \text{ mg.cm}^{-2}$ en la estación E5 (Figura 13).

6.2.2.2. Lípidos.

La distribución del contenido de LIP en el primer centímetro de sedimento aumentó significativamente de las estaciones someras hacia las estaciones profundas. Se registró un valor mínimo de $29.17 \pm 3.15 \text{ mg.gr}^{-1}$ en la estación E1 y un valor máximo de $135.76 \pm 29.89 \text{ mg.gr}^{-1}$ en la estación E5 (Tabla 6). La fracción lábil de LIP en el primer centímetro de sedimento presentó un valor mínimo de $10,11 \pm 7,82 \text{ mg.gr}^{-1}$ en la estación E2 y un valor máximo de $43,97 \pm 29,89 \text{ mg.gr}^{-1}$ en la estación E5 (Figura 15). La concentración integrada de LIP en la columna de sedimento presentó una tendencia al aumento hacia las estaciones más profundas (Figura 15). El contenido lábil presentó el menor valor en la estación E2 con $1,19 \pm 0,1 \text{ mg.cm}^{-2}$, mientras que el mayor valor de contenido lábil fue de $4,04 \pm 1,7 \text{ mg.cm}^{-2}$, registrado en la estación E5 (Tabla 6).

6.2.2.3. Proteínas.

La distribución del contenido total de PRT en el primer centímetro de sedimento presentó un gradiente creciente desde las estaciones someras hacia las estaciones más profundas. Se registró un valor mínimo de $6.19 \pm 3.92 \text{ mg.gr}^{-1}$ en la estación E2, y un máximo de $11.43 \pm 6.52 \text{ mg.gr}^{-1}$ en la estación E4 (Tabla 6). El contenido lábil de PRT en el primer centímetro de sedimento presentó un valor mínimo de $2,18 \pm 3,08 \text{ mg.gr}^{-1}$ en la estación E2 y un valor máximo de $7,26 \pm 6,52 \text{ mg.gr}^{-1}$ en la estación E4 (Figura 14). La concentración integrada de PRT en la columna de sedimento fue mayor en la estación E1 (Figura 14). La fracción lábil de proteínas presentó el menor valor integrado en la estación E2 con $0,28 \pm 0,09 \text{ mg.cm}^{-2}$, mientras que el mayor valor fue de $0,66 \pm 0,1 \text{ mg.cm}^{-2}$, registrado en la estación E4 (Tabla 6).

La concentración de CHO, PRT y LIP por estratos en la columna de sedimento presentaron los valores más altos en el primer centímetro de sedimento (0-1cm) (Tabla 6). La tendencia a la disminución de las concentraciones en estratos subsuperficiales es notoria en todas las estaciones de muestreo, sobre todo en las más someras.

Tabla 6. Concentración de Cl-a, Carbohidratos (CHO), Proteínas (PRT) y Lípidos (LIP) en la columna de sedimento, para las cinco estaciones de muestreo.

Cla (ug.g ⁻¹)	E1			E2			E3			E4			E5		
	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil
0-1	34.19	10.90	23.29	57.00	25.47	32.45	43.01	30.20	12.81	71.77	35.40	36.37	82.64	46.70	35.94
1-2	16.11	10.90	5.21	30.40	25.47	5.86	32.17	30.20	1.97	56.06	35.40	20.66	59.99	46.70	13.29
2-3	14.40	10.90	4.24	26.61	25.47	5.18	28.85	30.20	2.51	48.86	35.40	13.46	56.85	46.70	10.15
3-4	12.84	10.90	2.62	32.28	25.47	8.89	32.63	30.20	4.93	41.88	35.40	6.48	58.56	46.70	11.86
4-5	19.02	10.90	8.12	32.06	25.47	6.59	30.02	30.20	3.84	50.29	35.40	14.89	50.58	46.70	3.88
5-6	18.03	10.90	7.13	36.66	25.47	11.49	38.83	30.20	8.78	36.35	35.40	6.93	53.41	46.70	6.71
6-7	19.79	10.90	8.89	24.33	25.47	2.33	31.69	30.20	2.67	41.75	35.40	6.35	55.64	46.70	8.94
7-8	14.42	10.90	3.52	25.77	25.47	2.98	37.57	30.20	7.37	45.29	35.40	9.89	47.81	46.70	1.11
8-9	10.91	10.90	0.57	26.31	25.47	2.29	40.95	30.20	10.75	36.84	35.40	1.88	60.23	46.70	13.53
9-10	12.43	10.90	2.86	44.34	25.47	3.32	38.89	30.20	8.69	32.89	35.40	3.02	45.52	46.70	3.31
CHO (mg.g ⁻¹)	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil
	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil
0-1	7.38	2.50	4.88	8.17	5.65	2.52	7.44	4.76	2.68	15.18	9.86	5.32	20.35	14.05	6.30
1-2	7.11	2.50	4.61	8.10	5.65	2.45	6.24	4.76	1.48	13.73	9.86	3.87	19.63	14.05	5.58
2-3	4.62	2.50	2.12	6.66	5.65	1.52	4.96	4.76	0.20	12.52	9.86	2.66	16.97	14.05	2.92
3-4	4.86	2.50	2.36	7.23	5.65	1.58	4.53	4.76	0.00	11.22	9.86	1.36	16.55	14.05	2.72
4-5	4.99	2.50	2.49	5.58	5.65	0.80	4.79	4.76	0.03	10.85	9.86	0.99	18.53	14.05	4.48
5-6	6.09	2.50	3.59	5.61	5.65	0.08	6.30	4.76	1.54	9.86	9.86	0.00	14.37	14.05	1.11
6-7	5.17	2.50	2.67	7.18	5.65	1.53	5.33	4.76	0.65	11.82	9.86	1.96	19.03	14.05	2.92
7-8	2.05	2.50	0.00	5.86	5.65	0.48	5.06	4.76	0.55	10.23	9.86	0.37	14.21	14.05	2.70
8-9	2.48	2.50	0.19	6.79	5.65	1.67	5.29	4.76	0.53	10.89	9.86	1.03	17.55	14.05	2.25
9-10	2.96	2.50	0.46	5.55	5.65	0.34	5.38	4.76	0.62	11.39	9.86	1.53	13.58	14.05	0.90
LIP (mg.g-1)	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil
	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil
0-1	29.17	17.85	11.32	35.43	25.32	10.11	78.91	46.57	32.34	119.06	101.07	17.99	135.76	91.79	43.97
1-2	26.46	17.85	8.61	30.64	25.32	5.32	63.84	46.57	17.27	109.69	101.07	13.26	127.41	91.79	35.62
2-3	23.18	17.85	5.33	25.63	25.32	0.43	46.57	46.57	0.81	112.56	101.07	11.49	113.22	91.79	21.43
3-4	24.42	17.85	6.57	28.12	25.32	3.18	51.73	46.57	5.16	104.72	101.07	3.65	102.34	91.79	10.55
4-5	23.84	17.85	5.99	33.82	25.32	8.50	54.23	46.57	7.66	100.97	101.07	0.00	119.25	91.79	27.46
5-6	26.34	17.85	8.49	29.82	25.32	5.90	59.16	46.57	12.59	106.60	101.07	5.53	111.48	91.79	19.69
6-7	25.36	17.85	7.51	27.12	25.32	1.80	60.72	46.57	14.15	107.20	101.07	6.13	91.79	91.79	0.00
7-8	17.85	17.85	1.71	25.01	25.32	0.55	60.61	46.57	14.04	107.95	101.07	6.88	105.42	91.79	13.63
8-9	23.36	17.85	5.51	29.26	25.32	3.94	56.72	46.57	10.15	101.05	101.07	0.00	100.39	91.79	8.60
9-10	25.76	17.85	7.91	27.28	25.32	3.77	54.34	46.57	8.67	101.18	101.07	0.12	107.88	91.79	20.25
PRT (mg.g-1)	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil
	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil	Total	Background	Lábil
0-1	8.73	4.58	4.15	6.19	4.60	2.18	7.52	3.60	3.92	11.43	4.17	7.26	10.98	4.56	6.42
1-2	8.31	4.58	3.73	5.79	4.60	1.72	5.47	3.60	1.87	8.08	4.17	3.91	7.94	4.56	3.38
2-3	7.05	4.58	2.47	5.99	4.60	1.38	4.87	3.60	1.27	8.77	4.17	4.60	4.69	4.56	0.76
3-4	6.51	4.58	1.93	5.77	4.60	1.16	3.44	3.60	0.35	7.72	4.17	3.55	4.36	4.56	0.14
4-5	6.11	4.58	1.53	5.06	4.60	0.99	3.98	3.60	1.19	6.29	4.17	2.12	6.46	4.56	1.90
5-6	4.40	4.58	0.74	5.76	4.60	1.16	4.65	3.60	1.05	4.90	4.17	0.73	4.49	4.56	0.02
6-7	4.58	4.58	0.24	5.33	4.60	1.27	4.60	3.60	1.00	6.54	4.17	2.37	4.72	4.56	0.16
7-8	4.77	4.58	1.28	4.40	4.60	0.17	4.21	3.60	0.66	6.76	4.17	2.59	5.42	4.56	0.86
8-9	6.66	4.58	2.08	4.88	4.60	0.34	4.10	3.60	0.77	6.13	4.17	1.96	6.13	4.56	1.57
9-10	5.54	4.58	0.96	4.53	4.60	0.08	3.37	3.60	0.46	3.43	4.17	0.00	5.53	4.56	0.97

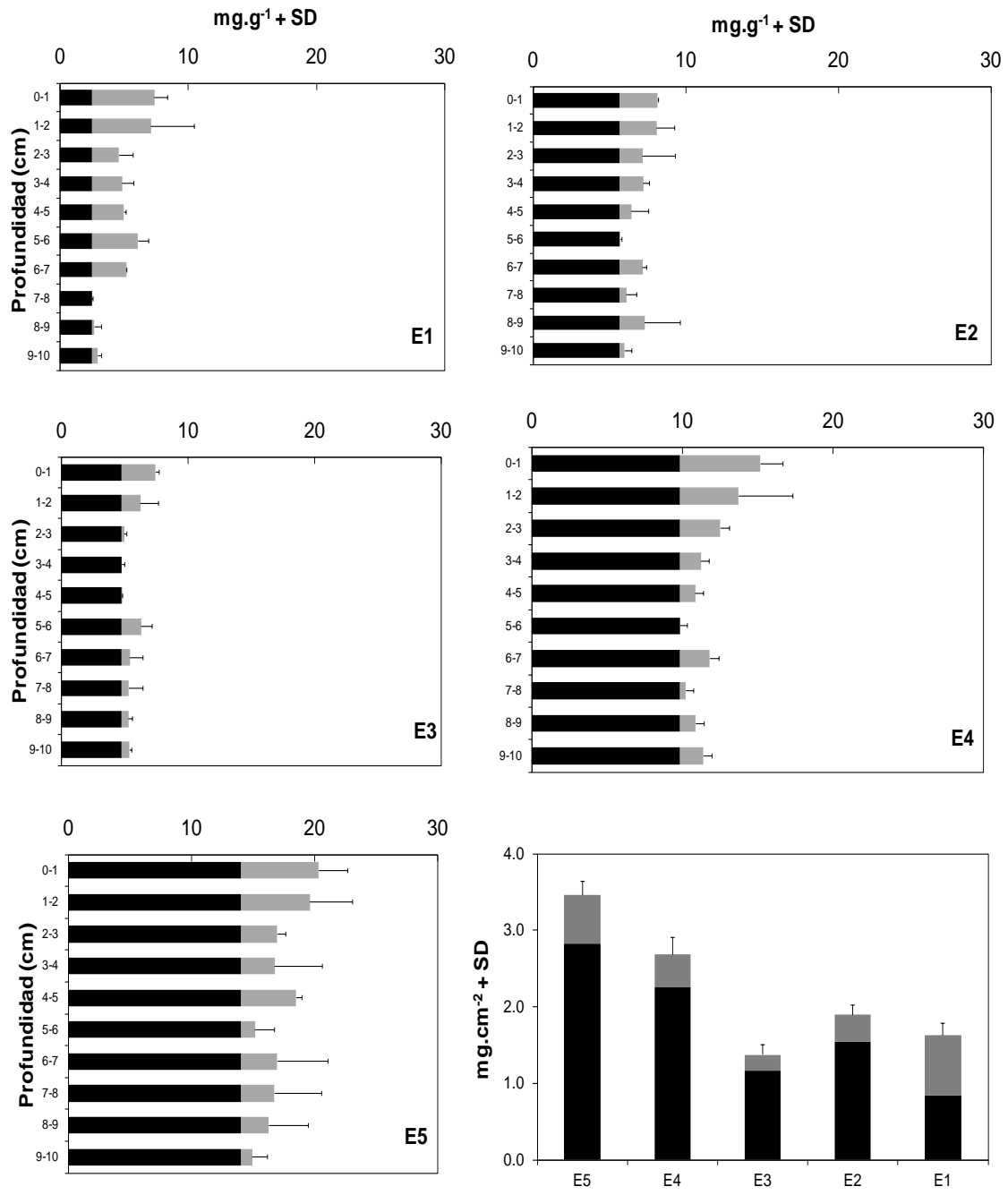


Figura 13. Distribución espacio-vertical (mg.g^{-1}) e integrada (mg.cm^{-2}) del contenido lábil (Gris) y valor Background (Negro) de Carbohidratos (CHO) en la columna de sedimento para las cinco estaciones de muestreo.

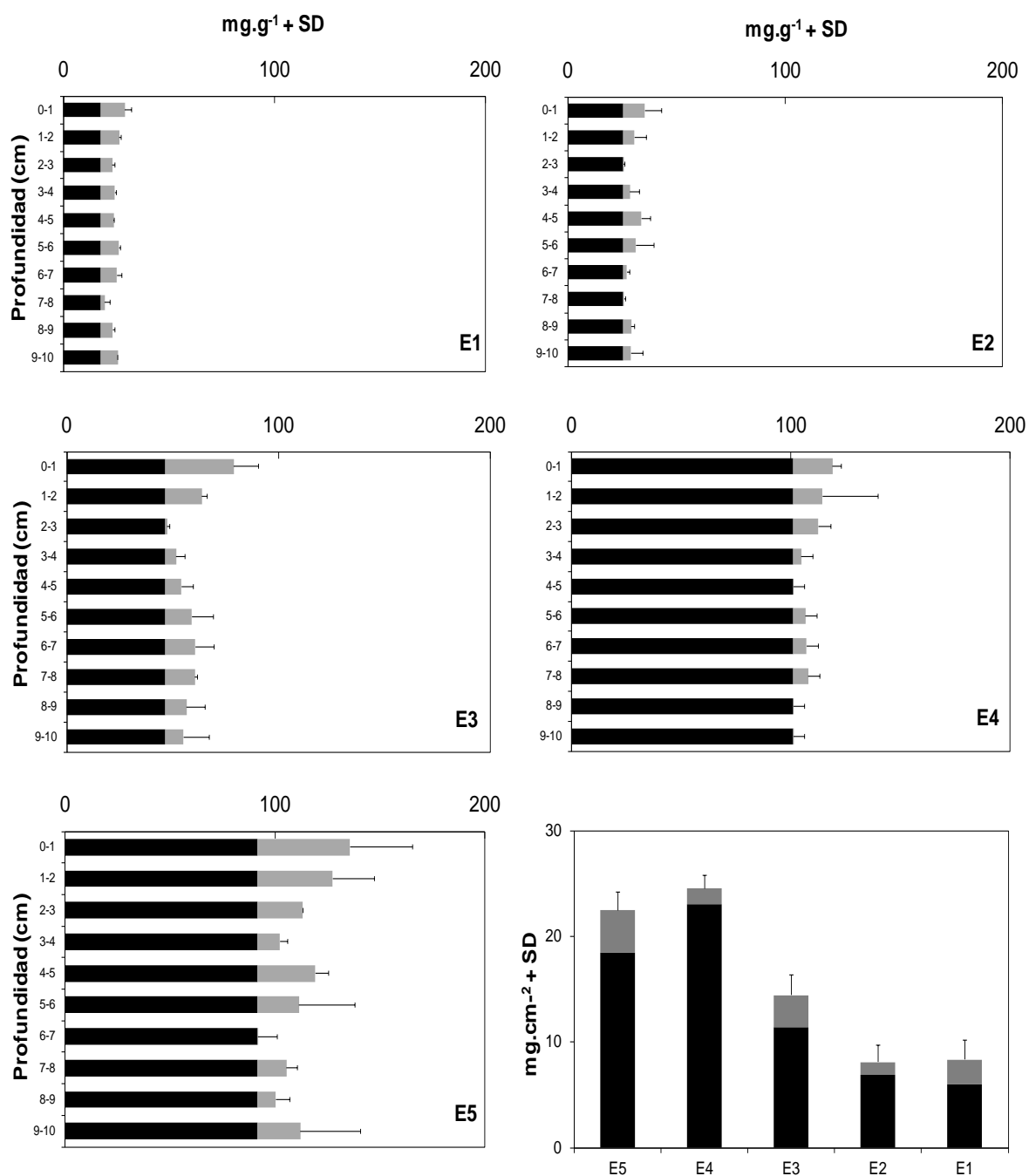


Figura 14. Distribución espacio-vertical (mg.g^{-1}) e integrada (mg.cm^{-2}) del contenido lábil (Gris) y valor Background (Negro) de Lípidos (LIP) en la columna de sedimento para las cinco estaciones de muestreo.

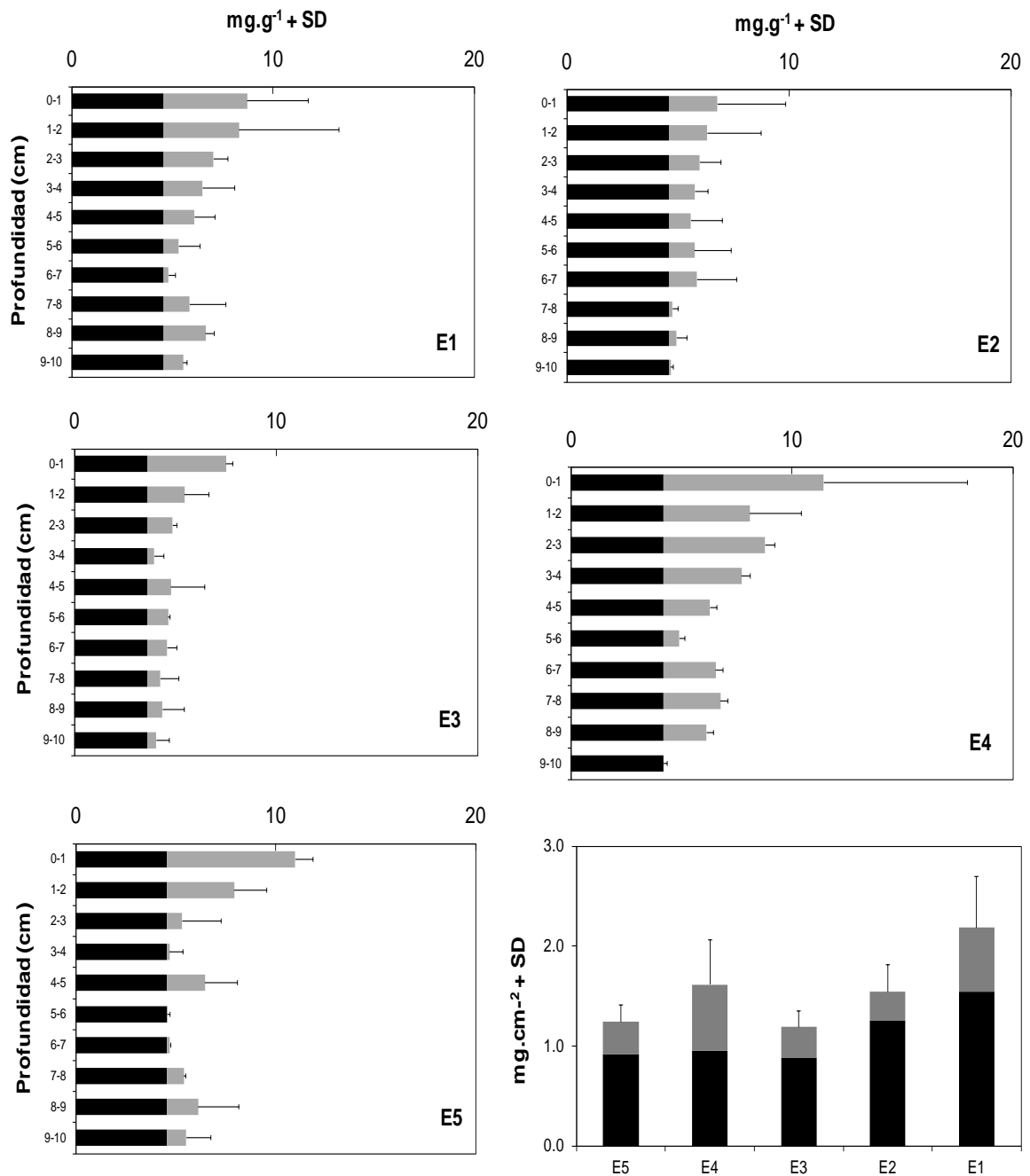


Figura 15. Distribución espacio-vertical (mg.g^{-1}) e integrada (mg.cm^{-2}) del contenido lábil (Gris) y valor Background (Negro) de Proteínas (PRT) en la columna de sedimento para las cinco estaciones de muestreo.

6.3. Composición y Estructura Comunitaria.

6.3.1. Meiofauna Metazoa.

6.3.1.1. Abundancia.

Estuvo compuesta en su mayoría por nematodos (Figura 16), los que constituyeron entre el 84.72% (E3) y 97.49% (E2) de la abundancia total de la meiofauna metazoa en los 5 sitios de estudio (Tabla 8). Organismos del phylum Nemertea constituyeron un máximo de 8% de la abundancia en la estación E3. Organismos del phylum Gastrotrichia constituyeron un máximo de 11.67% de la abundancia en la estación E5 (tabla 8). Organismos de la clase Polychaeta constituyeron un máximo de 2.42% de la abundancia en la estación E3. Los grupos restantes (Cnidarios, Crustáceos, Copépodos y Bivalvos) no superaron el 1% de la abundancia total y se presentaron solo en las estaciones E1 y E2 (Tabla 7). Las mayores abundancias promedio registradas para la meiofauna metazoa se presentaron en el primer centímetro (0-1cm) de la columna de sedimento en los cinco lugares de estudio. Se registró mayores densidades en la estación E1 $584 \pm 52 \text{ Ind.10cm}^{-2}$ y menores densidades en la estación E3 con $141 \pm 29 \text{ Ind.10cm}^{-2}$ en donde las mayores abundancias se encontraron en estratos subsuperficiales (2-5cm) con $194 \pm 17 \text{ Ind.10cm}^{-2}$ (Figura 17).

La abundancia total de la meiofauna metazoaria fue mayor en las estaciones someras, sobretodo en la estación E1 con $1384 \pm 304 \text{ Ind.10cm}^{-2}$ (Tabla 7). La nematofauna alcanzó densidades de hasta $1310 \pm 297 \text{ Ind.10cm}^{-2}$ en la estación E1. Organismos del phylum Nemertea fueron los más abundantes luego de los Nematodos, disminuyendo sus densidades de $46 \pm 27 \text{ Ind.10cm}^{-2}$ en la estación E1 a $14 \pm 4 \text{ Ind.10cm}^{-2}$ en la estación E4. Organismos del phylum Gastrotrichia aumentaron sus densidades de $2 \pm 3 \text{ Ind.10cm}^{-2}$ en la estación E1 a $97 \pm 44 \text{ Ind.10cm}^{-2}$ en la estación E5 (Figura 16). Los poliquetos estuvieron presentes en todas las estaciones, alcanzando sus mayores densidades en la estación E1 con $12 \pm 8 \text{ Ind.10cm}^{-2}$ y en la estación E3 con $13 \pm 4 \text{ Ind.10cm}^{-2}$. Los bivalvos estuvieron presentes solo en la estación E1 con $11 \pm 3 \text{ Ind.10cm}^{-2}$. Los grupos restantes (Copépodos, Cnidarios y Crustáceos) presentaron densidades muy bajas de $1 \pm 1 \text{ Ind.10cm}^{-2}$.

6.3.1.2. Diversidad.

La diversidad total de la meiofauna metazoaria fue mayor en la en la estación E1 con $7 \pm 1 \text{ Tax.10cm}^{-2}$ y disminuyó hacia las estaciones más profundas con $4 \pm 1 \text{ Tax.10cm}^{-2}$ para la estación E5. La diversidad disminuyó hacia los centímetros subsuperficiales en la columna de sedimento, excepto en la estación E3 en donde la diversidad en el estrato subsuperficial (2-5cm) fue la misma que en la del primer centímetro (0-1cm) con $4 \pm 0 \text{ Tax.10cm}^{-2}$ (Figura 18).

6.3.1.3. Biomasa.

La biomasa total de la meiofauna metazoaria estuvo representada en más del 90% por la biomasa de la nematofauna. El mayor valor de biomasa se registró en la estación E1 con $0.39 \pm 0.17 \text{ mgC.10cm}^{-2}$ seguido de los valores obtenidos en las estación E4 con $0.19 \pm 0.03 \text{ mgC.10cm}^{-2}$ y la estación E5 con $0.17 \pm 0.07 \text{ mgC.10cm}^{-2}$. Además, las biomasas más altas fueron registradas en los estratos superficiales del sedimento para todas las estaciones a excepción de la estación E3 en donde las biomasas más altas fueron registradas en la capa subsuperficial de la columna de sedimento (Tabla 9).

La estación en donde se registró la mayor biomasa de la meiofauna metazoaria fue en la estación E1 con 0.59 ± 0.20 mgC.10cm⁻². En la estación E4 se registró una biomasa de 0.24 ± 0.07 mgC.10cm⁻² y en la E5 una biomasa de 0.23 ± 0.09 mgC.10cm⁻² (Figura 19). Se obtuvo el menor valor de biomasa en la estación E3 con 0.16 ± 0.02 mgC.10cm⁻² (Figura 19). La variación vertical de la biomasa en la columna de sedimento mostró una tendencia decreciente con la profundidad del sedimento (Figura 19). En el primer nivel (0-1cm) de la estación E1 se registró una biomasa de 0.24 ± 0.03 mgC.10cm⁻², mientras que en la estación E4 se determinó una biomasa de 0.12 ± 0.03 mgC.10cm⁻². La biomasa más baja en la capa superficial del sedimento se registró en la estación E3 con 0.04 ± 0.00 mgC.10cm⁻², donde además se detectó un pico de biomasa en la capa subsuperficial (2-5cm) con 0.07 ± 0.02 mgC.10cm⁻² (Figura 19).

6.3.1.4. Producción secundaria.

Los Nematodos fueron los que aportaron mayores valores de producción secundaria con $5.43 \text{ gC.m}^{-2}.\text{a}^{-2}$ en la estación E1. En las demás estaciones (plataforma media y externa) se observó una disminución de entre 1.93 y $1.09 \text{ gC.m}^{-2}.\text{a}^{-2}$. La distribución espacial de la producción secundaria fue similar a la de la biomasa y abundancia. Las tasas de recambio (P/B) obtenidas variaron de entre 12.18 a^{-1} en la estación E1 y 12.17 a^{-1} en la estación E2 a 6.99 a^{-1} en la estación E5 (Tabla 10).

La respiración de la meiofauna mostró el más alto valor en la estación E1 con $16.54 \text{ gC.m}^{-2}.\text{a}^{-2}$. Los requerimientos metabólicos entendidos como la suma de la producción y la respiración, fueron mayores en la estación E1 con $23.70 \text{ gC.m}^{-2}.\text{a}^{-2}$ manteniéndose entre 8.11 y $5.29 \text{ gC.m}^{-2}.\text{a}^{-2}$ en los demás sitios de muestreo (Tabla 11). Además, los valores de respiración de la meiofauna metazoaria fueron mayores a los de producción en biomasa en cada uno de los sitios de muestreo (Figura 20).

Tabla 7. Densidad de la meiofauna (Ind.10cm⁻²) por estratos de profundidad en el perfil batimétrico frente a Callao (*n*: número de réplicas).

Abril - 2010		Nematoda	Copepoda	Nemertea	Gastrotricha	Polychaeta	Cnidaria	Crustacea	Bivalvia	<i>n</i>
E1 (48 m)	0-1	543 ± 66	1 ± 1	19 ± 10	1 ± 1	9 ± 5	1 ± 1	-	11 ± 3	3
	1-2	408 ± 178	-	12 ± 9	-	1 ± 1	-	-	-	3
	2-5	298 ± 120	-	15 ± 10	1 ± 1	1 ± 1	-	1 ± 1	-	3
	5-10	61 ± 33	-	-	-	1 ± 1	-	-	-	3
	0-10	1310 ± 297	1 ± 1	46 ± 27	2 ± 3	12 ± 8	1 ± 1	1 ± 1	11 ± 3	
E2 (94 m)	0-1	296 ± 151	1 ± 1	2 ± 1	1 ± 1	5 ± 2	-	-	-	3
	1-2	208 ± 66	-	9 ± 7	1 ± 1	-	-	-	-	3
	2-5	112 ± 62	-	2 ± 2	1 ± 1	-	-	-	-	3
	5-10	7 ± 3	-	-	-	-	-	-	-	3
	0-10	623 ± 168	1 ± 1	13 ± 5	3 ± 2	5 ± 2	-	-	-	
E3 (117 m)	0-1	122 ± 38	-	7 ± 3	8 ± 7	5 ± 5	-	-	-	3
	1-2	92 ± 18	-	6 ± 2	1 ± 2	4 ± 4	-	-	-	3
	2-5	145 ± 29	-	15 ± 7	29 ± 28	4 ± 4	-	-	-	3
	5-10	8 ± 3	-	1 ± 2	-	-	-	-	-	3
	0-10	367 ± 11	-	29 ± 11	38 ± 34	13 ± 4	-	-	-	
E4 (148 m)	0-1	237 ± 102	-	4 ± 4	13 ± 11	5 ± 4	-	-	-	3
	1-2	146 ± 56	-	8 ± 6	9 ± 12	1 ± 1	-	-	-	3
	2-5	93 ± 57	-	2 ± 1	1 ± 2	-	-	-	-	3
	5-10	11 ± 6	-	-	1 ± 1	-	-	-	-	3
	0-10	487 ± 106	-	14 ± 4	24 ± 17	6 ± 3	-	-	-	
E5 (178 m)	0-1	176 ± 45	-	10 ± 3	68 ± 43	1 ± 1	-	-	-	3
	1-2	122 ± 25	-	4 ± 4	28 ± 26	-	-	-	-	3
	2-5	48 ± 41	-	3 ± 3	1 ± 1	-	-	-	-	3
	5-10	10 ± 7	-	-	-	-	-	-	-	3
	0-10	356 ± 45	-	17 ± 8	97 ± 44	1 ± 1	-	-	-	

Tabla 8. Densidad relativa (%) de la meiofauna por estratos de profundidad en el perfil batimétrico frente a Callao (n: número de réplicas).

Abril - 2010		Nematoda	Copepoda	Nemertea	Gastrotricha	Polychaeta	Cnidaria	Crustacea	Bivalvia	%	n
E1 (48 m)	0-1	92.81	0.06	3.25	0.34	1.60	0.11	0.00	1.83	100.00	3
	1-2	97.00	0.00	2.76	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	100.00	3
	2-5	94.50	0.00	4.76	0.32	0.21	0.00	0.21	0.00	100.00	3
	5-10	98.94	0.00	0.00	0.00	1.06	0.00	0.00	0.00	100.00	3
	0-10	95.81	0.01	2.69	0.16	0.78	0.03	0.05	0.46	100.00	
E2 (94 m)	0-1	97.11	0.24	0.72	0.24	1.68	0.00	0.00	0.00	100.00	3
	1-2	95.71	0.00	3.99	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	3
	2-5	97.12	0.00	1.73	1.15	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	3
	5-10	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	3
	0-10	97.49	0.06	1.61	0.43	0.42	0.00	0.00	0.00	100.00	
E3 (117 m)	0-1	86.08	0.00	4.95	5.42	3.54	0.00	0.00	0.00	100.00	3
	1-2	89.29	0.00	5.84	0.97	3.90	0.00	0.00	0.00	100.00	3
	2-5	75.04	0.00	7.75	14.97	2.24	0.00	0.00	0.00	100.00	3
	5-10	88.46	0.00	11.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	3
	0-10	84.72	0.00	7.52	5.34	2.42	0.00	0.00	0.00	100.00	
E4 (148 m)	0-1	91.52	0.00	1.67	4.88	1.93	0.00	0.00	0.00	100.00	3
	1-2	92.43	0.00	1.67	5.28	0.61	0.00	0.00	0.00	100.00	3
	2-5	97.29	0.00	1.67	1.03	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	3
	5-10	94.44	0.00	0.00	5.56	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	3
	0-10	93.92	0.00	1.25	4.19	0.63	0.00	0.00	0.00	100.00	
E5 (178 m)	0-1	68.89	0.00	4.05	26.54	0.52	0.00	0.00	0.00	100.00	3
	1-2	79.39	0.00	2.39	18.22	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	3
	2-5	92.95	0.00	5.13	1.92	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	3
	5-10	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	3
	0-10	85.31	0.00	2.89	11.67	0.13	0.00	0.00	0.00	100.00	

Tabla 9. Biomasa ($\text{mgC} \cdot 10\text{cm}^{-2}$) de la meiofauna metazoaria por estratos de profundidad en el perfil batimétrico frente a Callao (n: número de réplicas).

Abril - 2010		Nematoda	Copepoda	Nemertea	Gastrotricha	Polychaeta	Cnidaria	Crustacea	Bivalvia	n
E1 (48 m)	0-1	0.1151 \pm 0.113	0.0003 \pm 0.0005	0.0318 \pm 0.0270	0.0040 \pm 0.0069	0.0228 \pm 0.0141	0.0012 \pm 0.0011	-	0.0622 \pm 0.0107	3
	1-2	0.1041 \pm 0.0584	-	0.0146 \pm 0.0154	-	0.0010 \pm 0.0017	-	0.0214 \pm 0.0371	-	3
	2-5	0.14623 \pm 0.0970	-	0.0060 \pm 0.0059	0.0003 \pm 0.0003	0.0010 \pm 0.0017	-	0.0250 \pm 0.0434	-	3
	5-10	0.0261 \pm 0.0164	-	-	-	0.0011 \pm 0.0018	-	-	-	3
	0-10	0.3917 \pm 0.1676	0.0003 \pm 0.0005	0.0530 \pm 0.0374	0.0044 \pm 0.0071	0.0259 \pm 0.0193	0.0015 \pm 0.0013	0.0465 \pm 0.0406	0.0622 \pm 0.0107	
E2 (94 m)	0-1	0.0671 \pm 0.0324	0.0005 \pm 0.0003	0.0016 \pm 0.0011	0.0017 \pm 0.0029	0.0173 \pm 0.0041	-	-	-	3
	1-2	0.0482 \pm 0.0177	-	0.0255 \pm 0.0198	0.0004 \pm 0.0003	-	-	-	-	3
	2-5	0.0313 \pm 0.0161	-	0.0026 \pm 0.0002	0.0007 \pm 0.0008	-	-	-	-	3
	5-10	0.0023 \pm 0.0017	-	-	-	-	-	-	-	3
	0-10	0.1491 \pm 0.0386	0.0005 \pm 0.0003	0.0296 \pm 0.0186	0.0027 \pm 0.0027	0.0186 \pm 0.0034	-	-	-	
E3 (117 m)	0-1	0.0301 \pm 0.0060	-	0.0026 \pm 0.0013	0.0012 \pm 0.0010	0.0065 \pm 0.0055	-	-	-	3
	1-2	0.0296 \pm 0.0082	-	0.0019 \pm 0.0016	0.0002 \pm 0.0004	0.0062 \pm 0.0040	-	-	-	3
	2-5	0.0477 \pm 0.0092	-	0.0074 \pm 0.0064	0.0057 \pm 0.0057	0.0104 \pm 0.0079	-	-	-	3
	5-10	0.0065 \pm 0.0016	-	0.0002 \pm 0.0003	-	-	-	-	-	3
	0-10	0.1139 \pm 0.0012	-	0.0121 \pm 0.0056	0.0072 \pm 0.0065	0.0231 \pm 0.0143	-	-	-	
E4 (148 m)	0-1	0.1029 \pm 0.0355	-	0.0032 \pm 0.0037	0.0041 \pm 0.0054	0.0080 \pm 0.0077	-	-	-	3
	1-2	0.0469 \pm 0.0347	-	0.0042 \pm 0.0044	0.0015 \pm 0.0019	0.0007 \pm 0.0006	-	-	-	3
	2-5	0.0372 \pm 0.0179	-	0.0279 \pm 0.0404	0.0002 \pm 0.0003	-	-	-	-	3
	5-10	0.0070 \pm 0.0029	-	-	0.0006 \pm 0.0011	-	-	-	-	3
	0-10	0.1941 \pm 0.0343	-	0.0354 \pm 0.0421	0.0064 \pm 0.0055	0.0087 \pm 0.0071	-	-	-	
E5 (178 m)	0-1	0.0565 \pm 0.0118	-	0.0068 \pm 0.0032	0.0273 \pm 0.0042	0.0068 \pm 0.0060	-	-	-	3
	1-2	0.0576 \pm 0.0081	-	0.0054 \pm 0.0057	0.0043 \pm 0.0037	-	-	-	-	3
	2-5	0.0321 \pm 0.0357	-	0.0040 \pm 0.0038	0.0002 \pm 0.0004	-	-	-	-	3
	5-10	0.0252 \pm 0.0381	-	-	-	-	-	-	-	3
	0-10	0.1715 \pm 0.0680	-	0.0162 \pm 0.119	0.0318 \pm 0.0051	0.0072 \pm 0.0065	-	-	-	

Tabla 10. Producción secundaria de la meiofauna estimada según el modelo de Tumbiolo y Downing (1994) y razones P/B derivadas del cálculo.

		Producción secundaria (gC m ⁻² a ⁻¹)								n
Abril - 2010		Nematoda	Copepoda	Nemertea	Gastrotricha	Polychaeta	Cnidaria	Crustacea	Bivalvia	
E1 (48 m)	0-10	5.43	0.01	0.59	0.04	0.27	0.02	0.25	0.53	3
E2 (94 m)	0-10	1.93	0.00	0.33	0.03	0.14	-	-	-	3
E3 (117 m)	0-10	1.09	-	0.13	0.10	0.16	-	-	-	3
E4 (148 m)	0-10	1.72	-	0.17	0.06	0.07	-	-	-	3
E5 (178 m)	0-10	1.15	-	0.11	0.28	0.04	-	-	-	3
P/B										
E1 (48 m)	0-10	14.08	7.73	11.71	8.34	10.62	8.13	3.56	8.54	3
E2 (94 m)	0-10	12.91	9.27	10.53	12.79	7.68	-	-	-	3
E3 (117 m)	0-10	9.53	-	10.71	14.76	7.57	-	-	-	3
E4 (148 m)	0-10	8.81	-	6.44	12.23	8.10	-	-	-	3
E5 (178 m)	0-10	7.17	-	7.63	8.89	3.65	-	-	-	3

Tabla 11. Resumen de resultados de la biomasa total (B), producción secundaria (P), productividad (P/B), y respiración total meiobentónica (R) en el área de estudio (promedios \pm SD).

Abril - 2010	B	P	P/B	R	P + R
	(gC m ⁻²)	(gC m ⁻² a ⁻¹)	(a ⁻¹)	(gC m ⁻² a ⁻¹)	(gC m ⁻² a ⁻¹)
E1 (48 m)	0.59 \pm 0.20	7.16 \pm 2.24	12.17	16.54 \pm 5.11	23.70
E2 (94 m)	0.20 \pm 0.05	2.44 \pm 0.69	12.18	5.67 \pm 1.59	8.11
E3 (117 m)	0.16 \pm 0.02	1.48 \pm 0.16	9.46	3.45 \pm 0.37	4.93
E4 (148 m)	0.24 \pm 0.07	2.02 \pm 0.50	8.26	4.70 \pm 1.15	6.72
E5 (178 m)	0.23 \pm 0.08	1.59 \pm 0.27	6.99	3.70 \pm 0.62	5.29

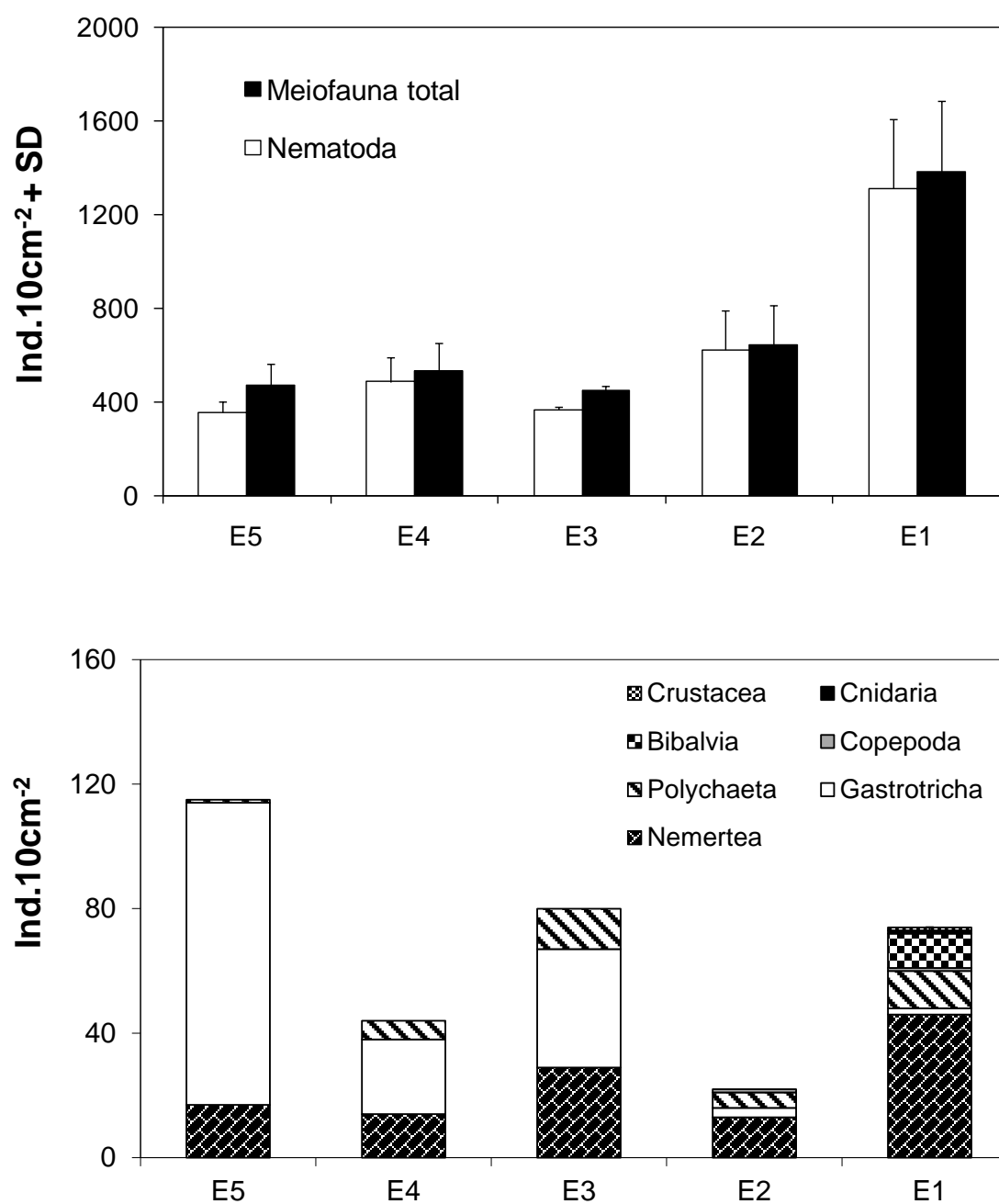


Figura 16. Distribución espacial de la abundancia y diversidad de la meiofauna metazoaria para las cinco estaciones de muestreo.

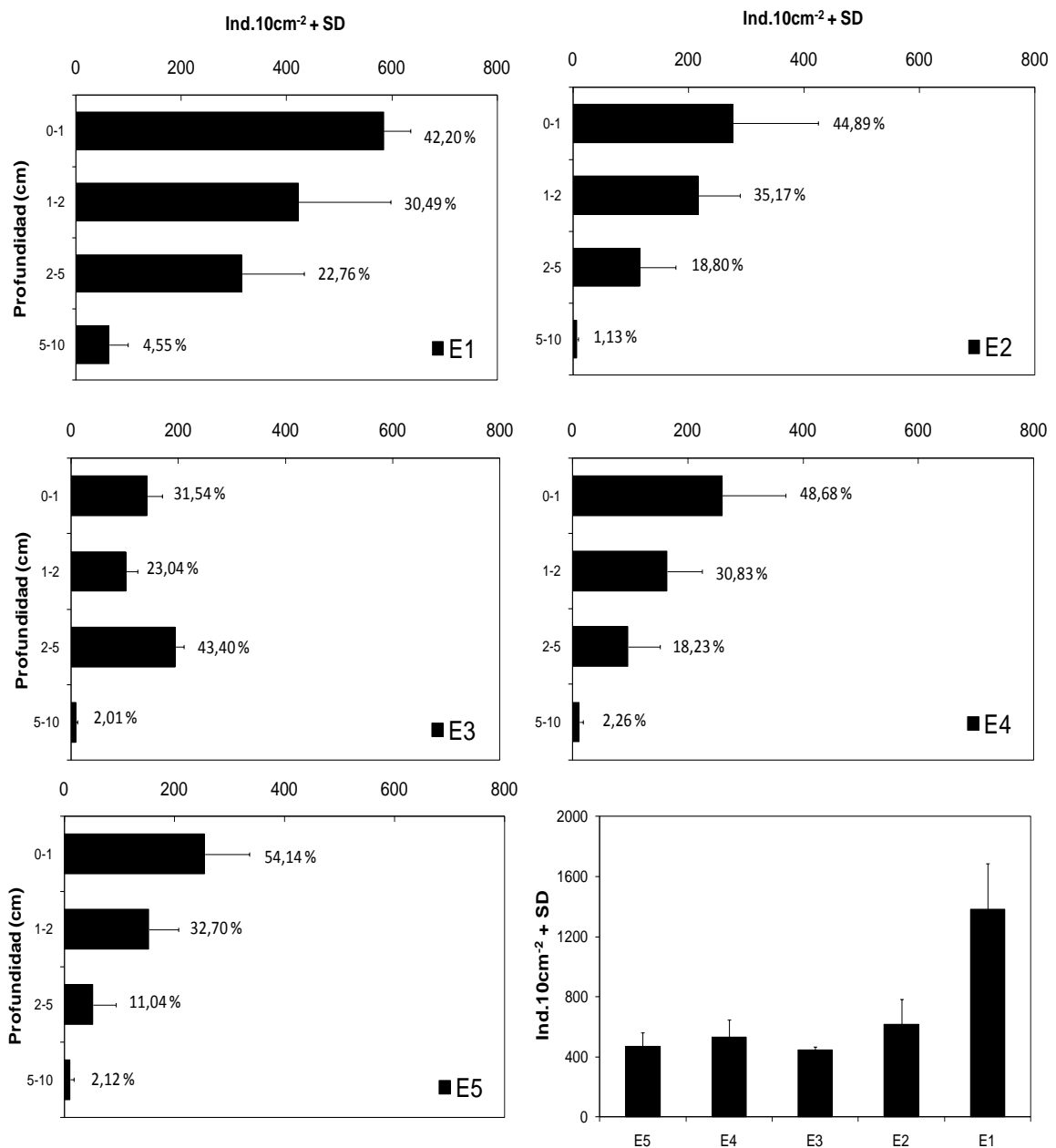


Figura 17. Distribución espacio-vertical de la abundancia de la meiofauna metazoaria y porcentaje relativo de distribución en la columna de sedimento para las cinco estaciones de muestreo.

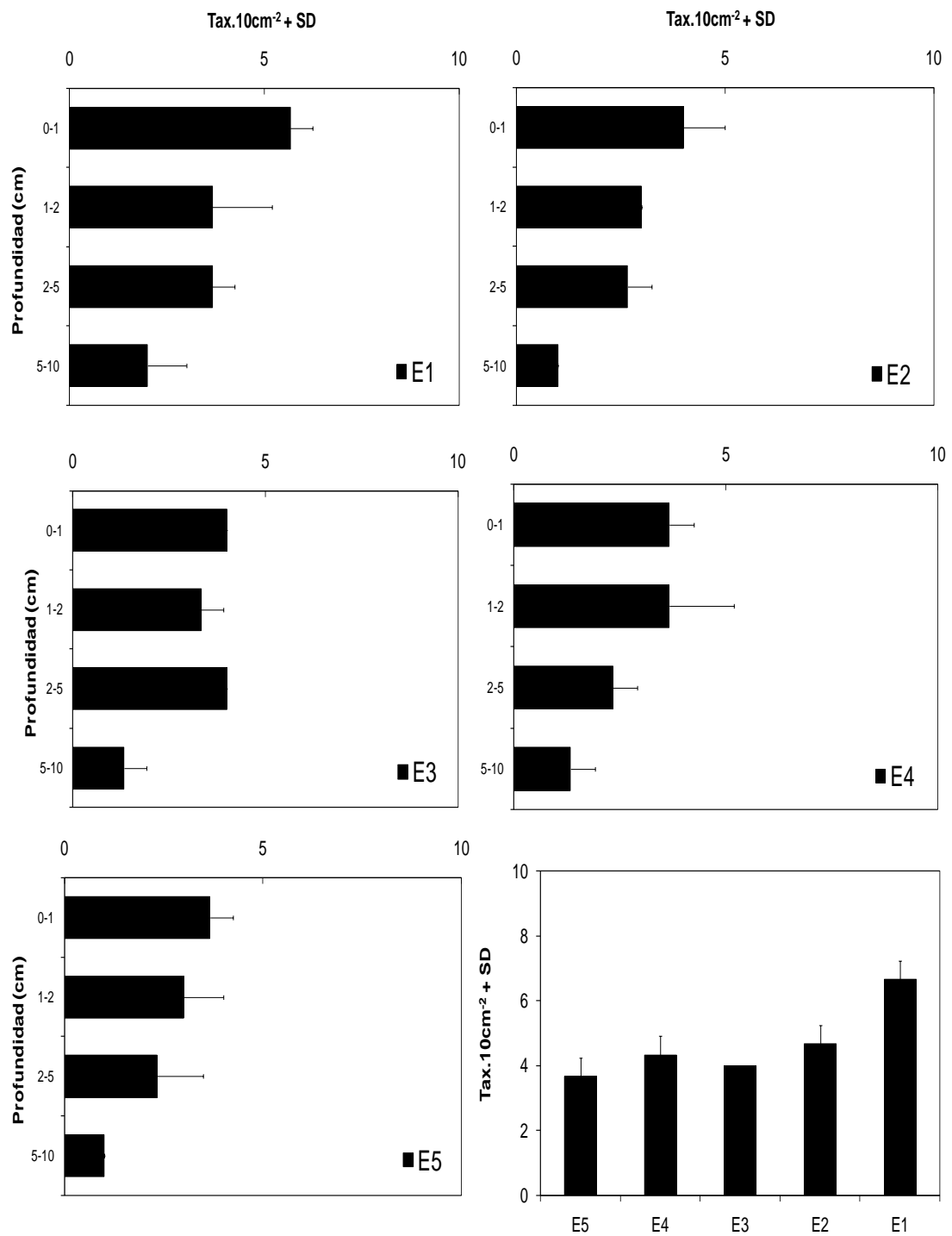


Figura 18. Distribución espacio-vertical de la diversidad de la meiofauna metazoaria en la columna de sedimento para las cinco estaciones de muestreo.

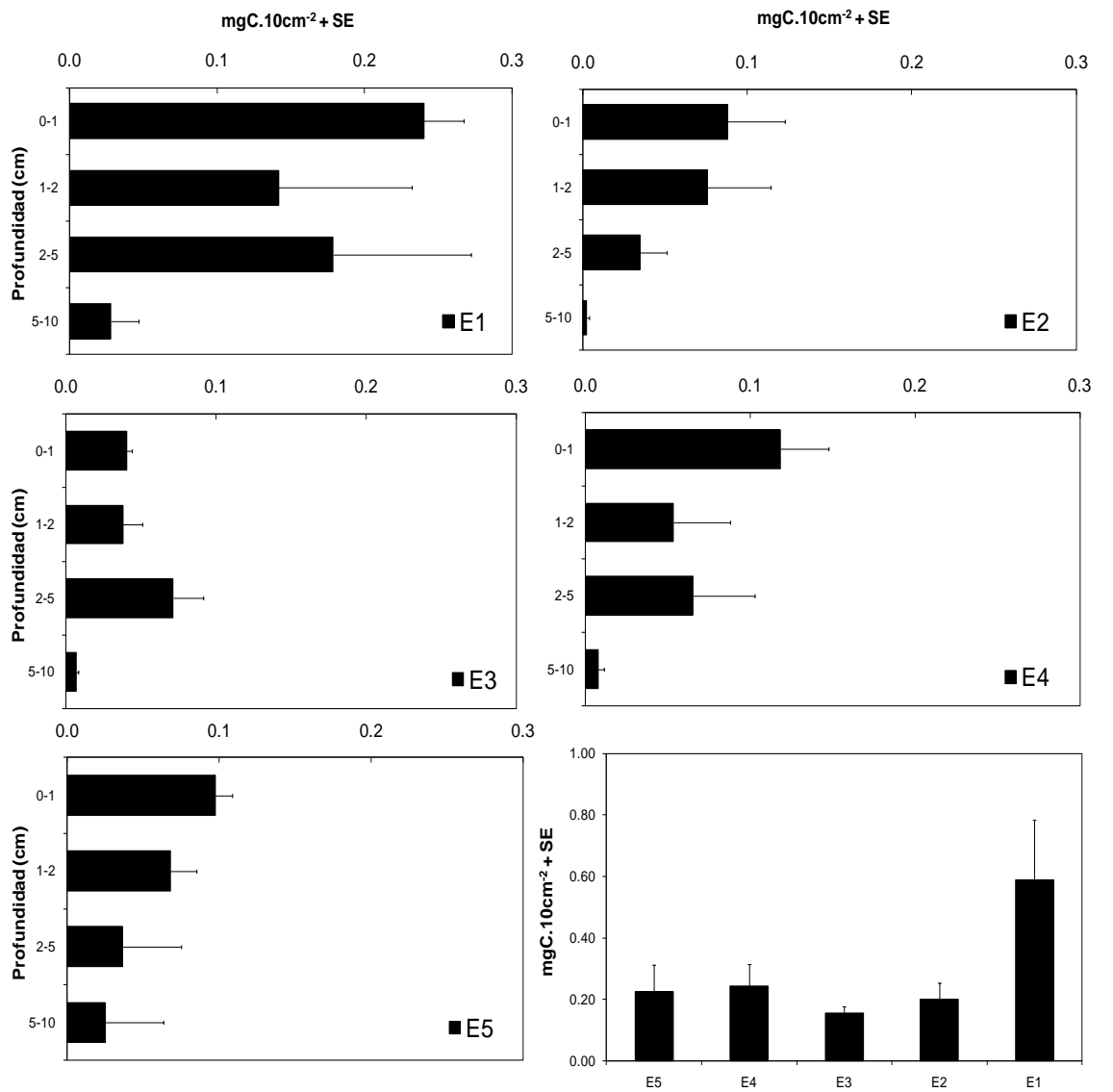


Figura 19. Distribución espacio-vertical de la biomasa de la meiofauna metazoaria en la columna de sedimento para las cinco estaciones de muestreo.

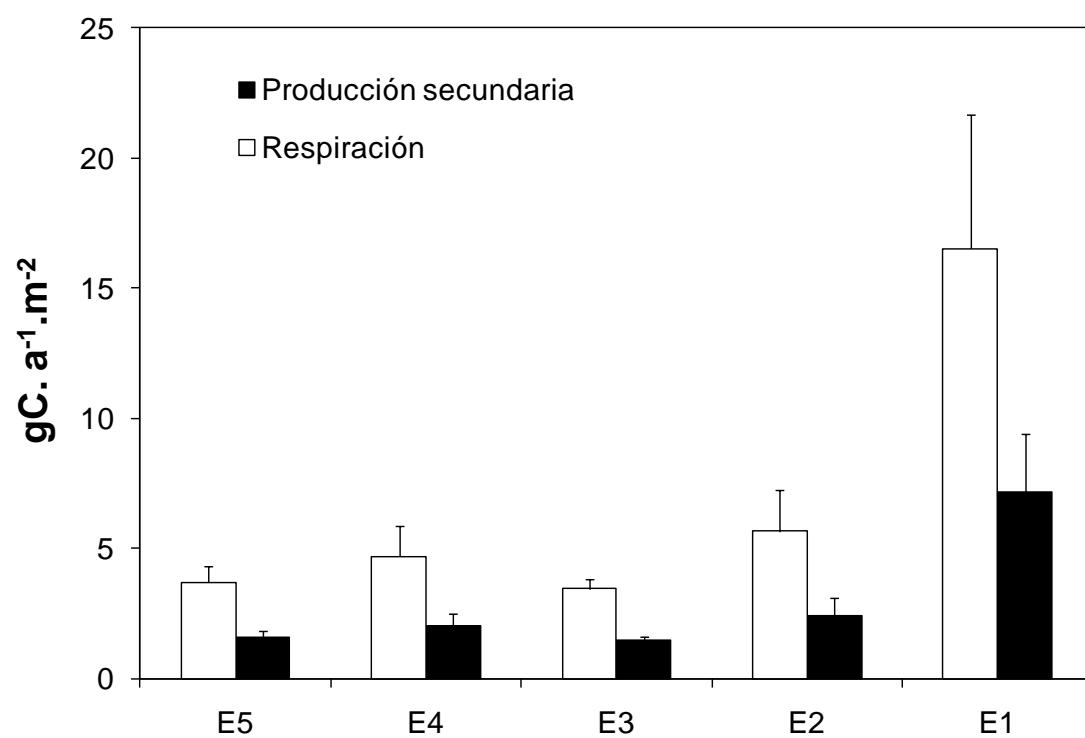


Figura 20. Producción secundaria y respiración total de la meiofauna metazoaria para las cinco estaciones de muestreo.

6.3.2. Macrofauna.

6.3.2.1. Abundancia.

La macrofauna estuvo dominada por el poliqueto *Paraprionospio pinnata* en los 5 sitios de estudio, registrándose las menores abundancias en la estación E5 con $479 \pm 226 \text{ Ind.m}^{-2}$ y las mayores abundancias en la estación E3 con $4190 \pm 2803 \text{ Ind.m}^{-2}$ y en la estación E2 con $4100 \pm 2803 \text{ Ind.m}^{-2}$. El poliqueto *Nephtys ferruginea* presentó densidades máximas en la estación E1 con $53 \pm 42 \text{ Ind.m}^{-2}$. El crustáceo *Ampellisca araucana* estuvo presente en casi todas las estaciones, excepto en la estación E5, alcanzando densidades máximas en la estación E1 con $47 \pm 12 \text{ Ind.m}^{-2}$. El poliqueto *Sigambra bassi* presentó una abundancia de $100 \pm 20 \text{ Ind.m}^{-2}$ en la estación E1. Los demás organismos (Anélidos, Nemertinos y Bivalvos) estuvieron presentes en al menos una estación pero con baja abundancia. El poliqueto *Tharix* spp. sólo estuvo presente en la estación E5 con $13 \pm 19 \text{ Ind.m}^{-2}$ y el poliqueto *Phylochaetopterus* sólo en la estación E4 con una densidad de $7 \pm 9 \text{ Ind.m}^{-2}$. Se registraron mayores abundancias de macrofauna en las estaciones ubicadas en la plataforma continental interior (Tabla 12).

6.3.2.2. Diversidad.

La diversidad de la macrofauna presentó una tendencia a la disminución desde las estaciones más someras hacia las más profundas. La diversidad para la estación E1 fue de 6 ± 1 Tax.m⁻² y la menor diversidad se registró en la estación E5 con 2 ± 1 Tax.m⁻² (Tabla 12).

6.3.2.3. Biomasa.

La biomasa de la macrofauna estuvo representada por *P. pinnata*, poliqueto presente en los 5 lugares de estudio, alcanzando los valores más altos en la estación E2 con 0.92 ± 0.74 gC.m⁻² y en la estación E3 con 0.61 ± 0.43 gC.m⁻². Los valores mínimos de biomasa fueron registrados en la estación E5 con 0.05 ± 0.03 gC.m⁻². Los demás grupos taxonómicos mostraron biomásas bajas y no estuvieron presentes en todas las estaciones (Tabla 13).

Tabla 12. Densidad (Ind.m^{-2}) de la macrofauna en el perfil batimétrico frente a Callao (n : número de réplicas).

Abril - 2010	<i>P. pinnata</i>	<i>N. ferruginea</i>	<i>S. bassi</i>	<i>M. phyllysae</i>	<i>Tharix spp.</i>	<i>P. favveli</i>	<i>n</i>
E1 (48 m)	1680 \pm 209	53 \pm 42	100 \pm 20	-	-	-	3
E2 (94 m)	4100 \pm 2984	27 \pm 23	27 \pm 46	20 \pm 35	-	7 \pm 12	3
E3 (117 m)	4190 \pm 2803	33 \pm 28	-	-	-	7 \pm 9	3
E4 (148 m)	2068 \pm 2003	-	-	-	-	-	3
E5 (178 m)	479 \pm 226	-	-	-	13 \pm 19	-	3
	Phororida	Pectinaria	<i>A. araucana</i>	Phylochaetopterus	Veneridae	Nemertea	<i>n</i>
E1 (48 m)	27 \pm 23	-	47 \pm 12	-	33 \pm 42	20 \pm 0	3
E2 (94 m)	-	7 \pm 12	7 \pm 12	-	-	60 \pm 87	3
E3 (117 m)	-	-	7 \pm 9	-	-	-	3
E4 (148 m)	-	-	13 \pm 19	7 \pm 9	-	-	3
E5 (178 m)	-	-	-	-	-	-	3

Tabla 13. Biomasa (gC.m^{-2}) de la macrofauna en el perfil batimétrico frente a Callao (n: número de réplicas).

Abril - 2010	<i>P. pinnata</i>	<i>N. ferruginea</i>	<i>S. bassi</i>	<i>M. phyllysae</i>	<i>Tharix spp.</i>	<i>P. favveli</i>	<i>n</i>
E1 (48 m)	0.4614 ± 0.2351	0.0034 ± 0.0025	0.0038 ± 0.0007	-	-	-	3
E2 (94 m)	0.9118 ± 0.7311	0.0074 ± 0.0090	0.0009 ± 0.0015	0.0003 ± 0.0005	-	0.0009 ± 0.0015	3
E3 (117 m)	0.6151 ± 0.4341	0.0015 ± 0.0010	-	-	-	0.0004 ± 0.0006	3
E4 (148 m)	0.2210 ± 0.2729	-	-	-	-	-	3
E5 (178 m)	0.0479 ± 0.0333	-	-	-	0.0016 ± 0.0022	-	3
	Phoronida	Pectinaria	<i>A. araucana</i>	Phylochaetopterus	Veneridae	Nemertea	<i>n</i>
E1 (48 m)	0.0018 ± 0.0025	-	0.0041 ± 0.0031	-	0.0373 ± 0.0631	0.0307 ± 0.0294	3
E2 (94 m)	-	0.0015 ± 0.0025	0.0005 ± 0.0008	-	-	0.0046 ± 0.0069	3
E3 (117 m)	-	-	0.0010 ± 0.0014	-	-	-	3
E4 (148 m)	-	-	0.0018 ± 0.0026	0.0001 ± 0.0001	-	-	3
E5 (178 m)	-	-	-	-	-	-	3

6.3.2.4. Biomasa de la meiofauna metazoaria y macrofauna.

La biomasa de la meiofauna metazoaria y de la macrofauna fue expresada en gramos de carbono por metro cuadrado (gCm^{-2}) (Sellanes, 2002) para poder ser sometidas a comparación.

En la estación E1 la biomasa de la meiofauna fue de $0.59 \pm 0.20 \text{ gCm}^{-2}$ y la de la macrofauna fue de $0.54 \pm 0.30 \text{ gCm}^{-2}$. En la estación E2 la biomasa de la macrofauna alcanzó $0.92 \pm 0.74 \text{ gCm}^{-2}$ y superó a la de la meiofauna con $0.20 \pm 0.05 \text{ gCm}^{-2}$. En la estación E5 la biomasa de la meiofauna fue de $0.23 \pm 0.09 \text{ gCm}^{-2}$ y superó a la biomasa de la macrofauna con $0.05 \pm 0.04 \text{ gCm}^{-2}$ (Figura 21). El cociente más elevado entre biomásas (macrofauna: meiofauna) se obtuvo en la estación E2 con 4.6 y en la estación E3 con 4.0. Los cocientes más bajos se obtuvieron en la estación E1 con 0.9 y en la estación E5 con 0.2 (Figura 22).

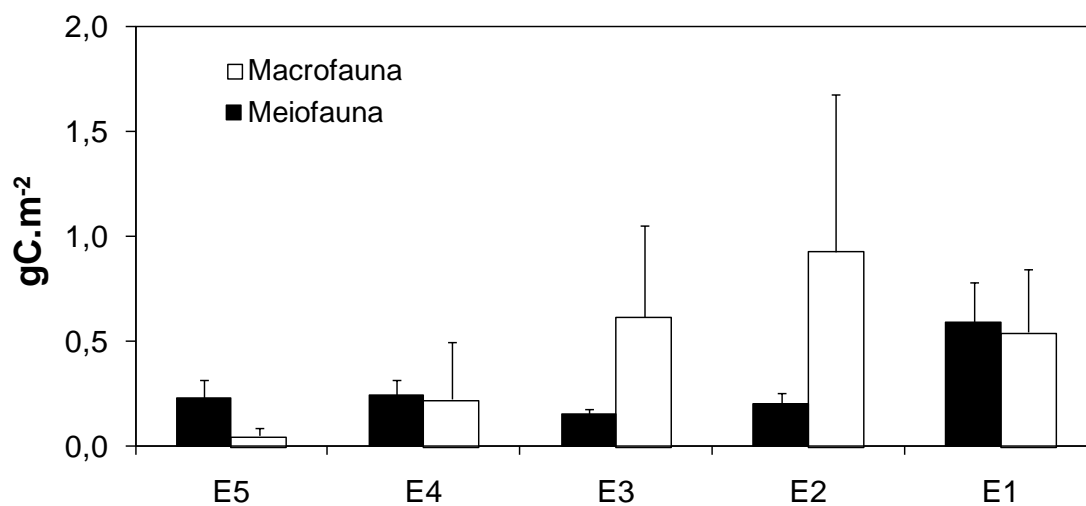


Figura 21. Biomosas de la meiofauna y la macrofauna para las cinco estaciones de muestreo.

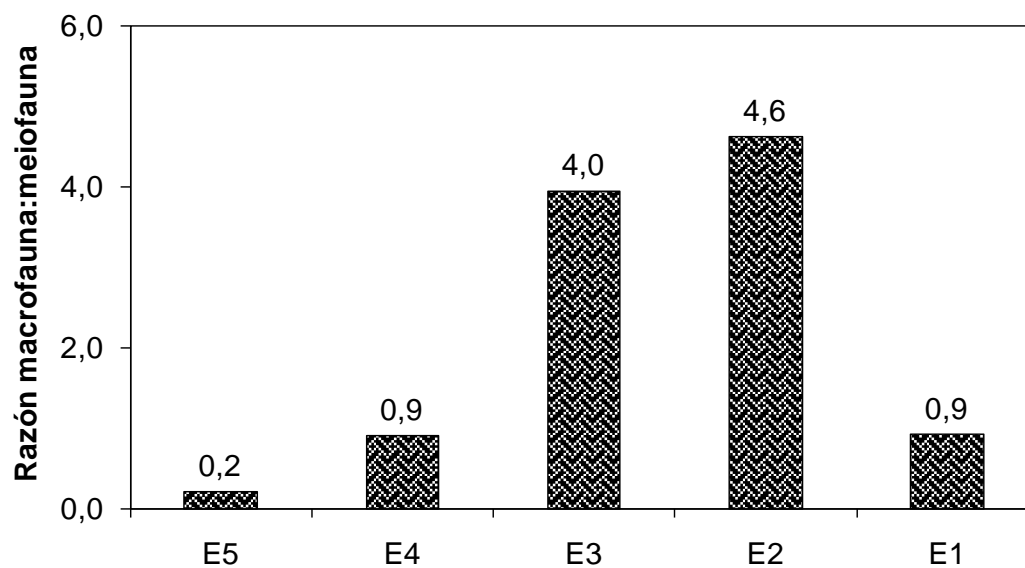


Figura 22. Razones macrofauna: meiofauna en relación a la biomasa para las cinco estaciones de muestreo.

6.3.3. Meiofauna protozoaria.

6.3.3.1. Abundancia.

El foraminífero calcáreo *Nonionella auris* constituyó entre el 24.42 y 38.52% en las estaciones E1 y E2. El foraminífero calcáreo *Bolivina costata* constituyó entre el 25.65 y 43.42% de la abundancia en las estaciones más someras (E1 y E2). En las estaciones más profundas (E3, E4 y E5) predominó el foraminífero calcáreo *Buliminella tenuata*, constituyendo entre el 20.02 y 57.56%. El foraminífero calcáreo *Bolivina seminuda* constituyó entre el 24.84 y 58.96% de la abundancia en las estaciones más profundas (E3, E4, E5). Se observó una predominancia de *B. costata* en la estación E1 y E2. Asimismo se observó una dominancia de *B. tenuata* en la estación E3 y una dominancia de *B. seminuda* en las estaciones E4 y E5 (Tabla 15).

B. costata presentó una mayor abundancia en la estación E1 con $1465 \pm 534 \text{ Ind.10 cm}^{-2}$ y una mínima abundancia en la estación E5 con $4 \pm 3 \text{ Ind.10 cm}^{-2}$. *B. tenuata* predominó en la estación E3 con densidades de $2061 \pm 381 \text{ Ind.10 cm}^{-2}$. *B. seminuda* predominó en las estaciones más profundas, alcanzando densidades de $1326 \pm 104 \text{ Ind.10 cm}^{-2}$ en la estación E4 (Tabla 14). De las mayores abundancias se registraron en la estación E3 con $3581 \pm 586 \text{ Ind.10 cm}^{-2}$, seguida de la estación E1 con $3375 \pm 886 \text{ Ind.10 cm}^{-2}$. En la

estación E5 se registraron las densidades más bajas de foraminíferos con $949 \pm 536 \text{ Ind.10 cm}^{-2}$ (Figura 23).

La abundancia total de foraminíferos fue siempre mayor en los estratos superficiales (0-1cm) de la columna de sedimento, a diferencia de los estratos subsuperficiales en donde las densidades fueron mínimas para las 5 estaciones (Figura 23). Los mayores valores de abundancia se registraron en la estación E3 con $3139 \pm 508 \text{ Ind.10 cm}^{-2}$ y los menores valores de densidad en la estación E5 con $897 \pm 534 \text{ Ind.10 cm}^{-2}$. Así, más del 90% de la abundancia total estuvo representada en el primer centímetro de sedimento.

6.3.3.2. Diversidad.

La composición taxonómica estuvo dominada por el grupo de foraminíferos calcáreos (*Nonionella spp.*, *Bolivina spp.*, *Virgulinitella spp.*), seguido por el grupo de foraminíferos tectináceos (*Bathysiphon spp.*, *Leptohalysis spp.*) y el grupo de foraminíferos aglutinados pertenecientes a la familia Alogromidae (Figura 23). La diversidad alcanzó su pico más alto en la estación E5 con $9 \pm 1 \text{ Tax.10 cm}^{-2}$. Las mayores diversidades se registraron en los primeros centímetros de sedimento. Además, la diversidad disminuyó con la profundidad del sedimento en los 5 sitios de estudio (Figura 24).

Tabla 14. Densidad (Ind.10cm⁻²) de la fauna protozoaria (foraminíferos) por estratos de profundidad en el perfil batimétrico frente a Callao (n: número de réplicas).

Abril - 2010		<i>Buliminella tenuata</i>	<i>Buliminella elegantissima</i>	<i>Nonionella auris</i>	<i>Bolivina costata</i>	<i>Bolivina seminuda</i>	<i>Bolivina pacifica</i>	<i>Virgulinitella fragilis</i>	<i>Bathysiphon spp.</i>	<i>Leptohalysis spp.</i>	Alogromidae	n
E1 (48 m)	0-1	64 ± 24	86 ± 33	1120 ± 308	1410 ± 552	188 ± 11	-	43 ± 31	-	-	31 ± 15	3
	1-2	-	2 ± 3	168 ± 219	51 ± 58	31 ± 14	-	-	-	-	22 ± 9	3
	2-5	4 ± 6	-	11 ± 15	-	50 ± 81	-	-	-	-	59 ± 58	3
	5-10	-	-	1 ± 0	4 ± 4	7 ± 3	-	-	-	-	22 ± 19	3
	0-10	68 ± 30	88 ± 36	1300 ± 481	1465 ± 534	275 ± 64	-	43 ± 31	-	-	135 ± 47	
E2 (94 m)	0-1	349 ± 311	30 ± 13	556 ± 680	608 ± 84	417 ± 43	19 ± 6	-	1 ± 1	-	83 ± 24	3
	1-2	1 ± 2	1 ± 1	15 ± 14	-	10 ± 15	-	-	1 ± 2	-	87 ± 47	3
	2-5	-	-	7 ± 11	-	7 ± 8	-	-	-	-	163 ± 143	3
	5-10	-	-	1 ± 2	-	6 ± 6	-	-	-	-	7 ± 3	3
	0-10	350 ± 311	30 ± 14	580 ± 706	609 ± 84	444 ± 49	19 ± 6	-	2 ± 2	-	339 ± 120	
E3 (117 m)	0-1	2047 ± 377	2 ± 3	97 ± 98	26 ± 12	862 ± 203	-	-	3 ± 6	-	102 ± 84	3
	1-2	4 ± 1	-	4 ± 5	-	20 ± 21	-	1 ± 1	-	-	306 ± 59	3
	2-5	1 ± 1	-	1 ± 2	-	2 ± 2	-	-	-	-	75 ± 42	3
	5-10	10 ± 6	-	1 ± 1	-	6 ± 3	-	-	-	-	10 ± 4	3
	0-10	2061 ± 381	2 ± 3	103 ± 104	26 ± 12	890 ± 220	-	1 ± 1	3 ± 6	-	494 ± 146	
E4 (148 m)	0-1	449 ± 123	37 ± 9	86 ± 49	22 ± 15	1296 ± 118	84 ± 7	-	6 ± 8	1 ± 1	127 ± 53	3
	1-2	-	-	1 ± 0	-	9 ± 5	-	-	-	-	44 ± 10	3
	2-5	-	-	1 ± 1	-	3 ± 2	-	-	-	-	25 ± 8	3
	5-10	1 ± 1	-	16 ± 25	18 ± 25	18 ± 16	-	-	-	-	4 ± 4	3
	0-10	450 ± 123	37 ± 9	104 ± 37	40 ± 30	1326 ± 104	84 ± 7	-	6 ± 8	1 ± 1	201 ± 40	
E5 (178 m)	0-1	303 ± 225	28 ± 21	53 ± 17	4 ± 4	398 ± 229	44 ± 43	1 ± 1	2 ± 3	2 ± 2	62 ± 11	3
	1-2	1 ± 1	-	3 ± 4	-	10 ± 8	-	-	-	-	8 ± 11	3
	2-5	-	-	1 ± 2	-	3 ± 1	-	-	-	-	16 ± 11	3
	5-10	1 ± 2	-	1 ± 1	1 ± 1	3 ± 1	-	-	-	-	5 ± 2	3
	0-10	305 ± 226	28 ± 21	57 ± 20	4 ± 3	414 ± 231	44 ± 42	1 ± 1	2 ± 3	2 ± 2	91 ± 9	

Tabla 15. Densidad relativa (%) de la fauna protozoaria (foraminíferos) por estratos de profundidad en el perfil batimétrico frente a Callao (n: número de réplicas).

Abril - 2010		<i>Buliminella tenuata</i>	<i>Buliminella elegantissima</i>	<i>Nonionella auris</i>	<i>Bolivina costata</i>	<i>Bolivina seminuda</i>	<i>Bolivina pacifica</i>	<i>Virgulinitella fragilis</i>	<i>Bathysiphon spp.</i>	<i>Leptohalysis spp.</i>	Alogromidae	n
E1 (48 m)	0-1	2.18	2.91	38.07	47.93	6.38	0.00	1.47	0.00	0.00	1.07	3
	1-2	0.00	0.85	61.06	18.50	11.37	0.00	0.12	0.00	0.00	8.10	3
	2-5	2.96	0.00	8.89	0.27	40.16	0.00	0.00	0.00	0.00	47.71	3
	5-10	0.00	0.00	2.94	12.75	19.61	0.00	0.00	0.00	0.00	64.71	3
	0-10	2.01	2.61	38.52	43.42	8.16	0.00	1.29	0.00	0.00	3.99	
E2 (94 m)	0-1	16.91	1.44	26.96	29.48	20.21	0.94	0.00	0.05	0.00	4.01	3
	1-2	1.11	0.56	12.50	0.28	12.22	0.00	0.00	1.11	0.00	72.22	3
	2-5	0.00	0.00	4.14	0.00	3.95	0.00	0.00	0.00	0.00	91.90	3
	5-10	0.00	0.00	9.30	2.33	39.53	0.00	0.00	0.00	0.00	48.84	3
	0-10	14.75	1.28	24.42	25.65	18.71	0.81	0.00	0.10	0.00	14.28	
E3 (117 m)	0-1	65.20	0.05	3.09	0.84	27.45	0.00	0.00	0.11	0.00	3.26	3
	1-2	1.29	0.00	1.29	0.10	5.85	0.00	0.30	0.00	0.00	91.17	3
	2-5	0.83	0.00	1.67	0.42	2.92	0.00	0.00	0.00	0.00	94.17	3
	5-10	37.18	0.00	2.56	0.00	23.08	0.00	0.00	0.00	0.00	37.18	3
	0-10	57.56	0.05	2.89	0.75	24.84	0.00	0.03	0.09	0.00	13.79	
E4 (148 m)	0-1	21.30	1.77	4.08	1.06	61.45	3.97	0.00	0.30	0.03	6.04	3
	1-2	0.61	0.00	1.83	0.00	16.46	0.00	0.00	0.00	0.00	81.10	3
	2-5	0.00	0.00	2.27	0.00	11.36	0.00	0.00	0.00	0.00	86.36	3
	5-10	1.74	0.00	27.91	31.40	31.98	0.00	0.00	0.00	0.00	6.98	3
	0-10	20.02	1.66	4.61	1.79	58.96	3.72	0.00	0.28	0.03	8.93	
E5 (178 m)	0-1	33.83	3.12	5.87	0.41	44.42	4.91	0.07	0.26	0.19	6.91	3
	1-2	4.69	0.00	12.50	0.00	45.31	0.00	0.00	0.00	0.00	37.50	3
	2-5	1.56	0.00	6.25	0.00	14.06	1.56	0.00	0.00	0.00	76.56	3
	5-10	10.34	0.00	6.90	6.90	27.59	0.00	0.00	0.00	0.00	48.28	3
	0-10	32.21	2.95	6.04	0.46	43.59	4.67	0.07	0.25	0.18	9.59	

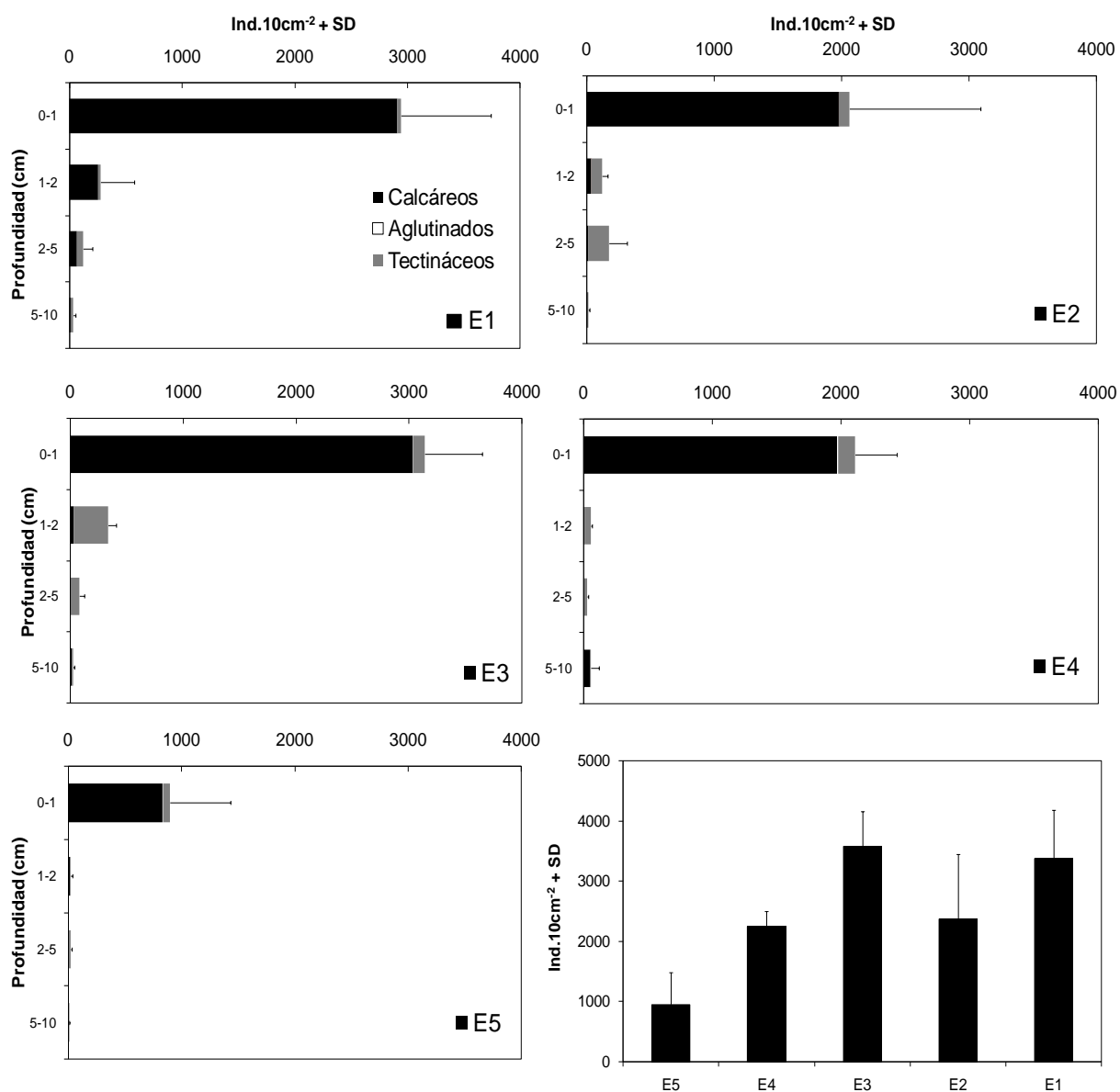


Figura 23. Distribución espacio-vertical de la abundancia de la fauna protozoaria (foraminíferos) en la columna de sedimento para las cinco estaciones de muestreo.

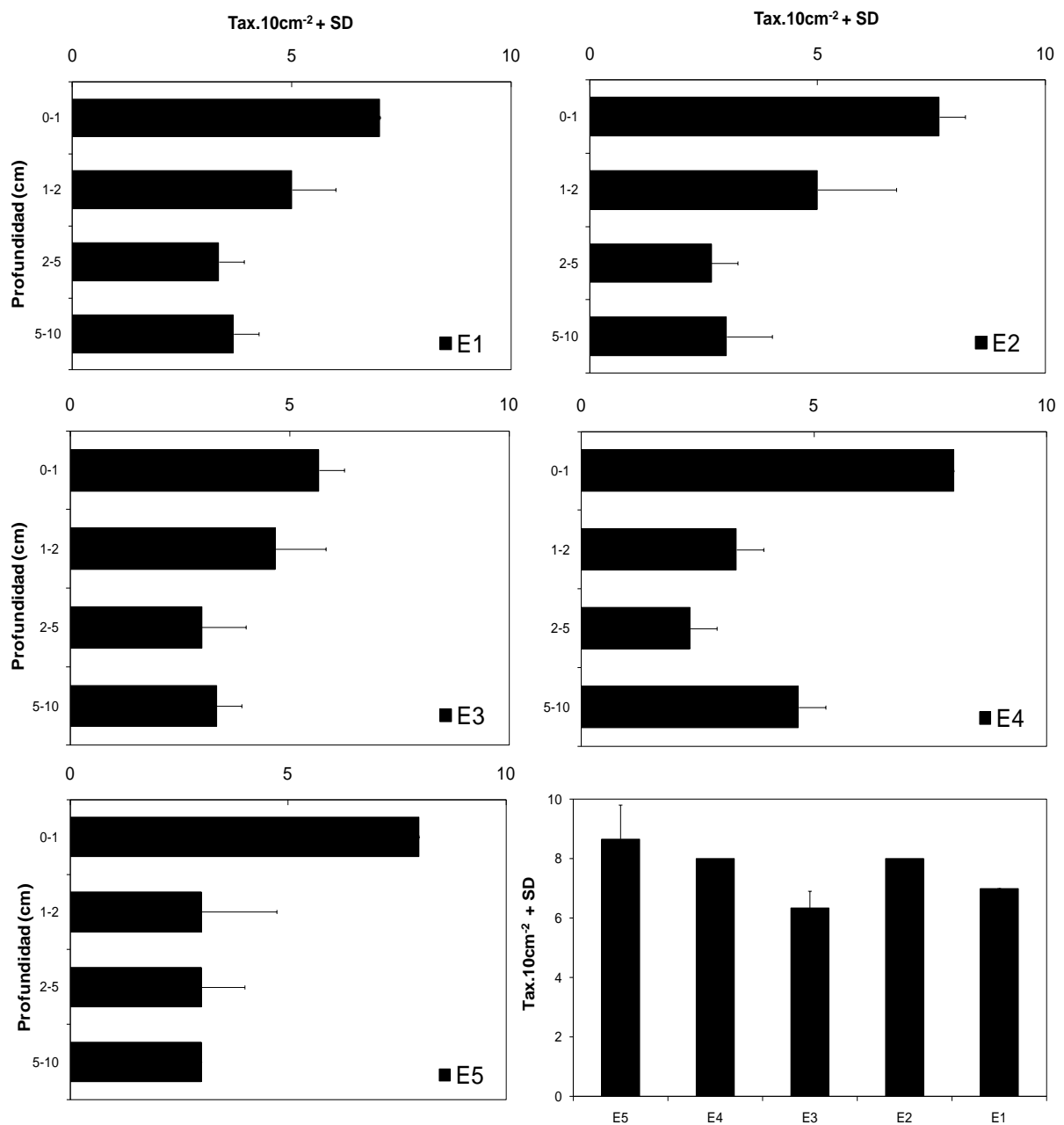


Figura 24. Distribución espacio-vertical de la diversidad de la fauna protozoaria (foraminíferos) en la columna de sedimento para las cinco estaciones de muestreo.

6.4. Estadísticos.

6.4.1. Parámetros sedimentarios.

6.4.1.1. Primer centímetro de sedimento.

Se describen las correlaciones de rango de Spearman (r_s) entre las distintas variables fisicoquímicas y biogeoquímicas en el primer centímetro de sedimento.

La concentración total de Cl-a exhibió una correlación positiva con la concentración de feopigmentos ($r_s = 0.9$; $p < 0.05$), con la concentración total de LIP ($r_s = 0.9$; $p < 0.05$), con la concentración total de CHO ($r_s = 1.0$; $p < 0.05$) y con la profundidad ($r_s = 0.9$; $p < 0.05$) y una correlación inversa con la temperatura de fondo ($r_s = -0.9$; $p < 0.05$). La concentración de feopigmentos exhibió una correlación positiva con la concentración total de LIP ($r_s = 0.7$; $p < 0.1$), con la concentración total CHO ($r_s = 0.9$; $p < 0.05$) y con la profundidad ($r_s = 0.7$; $p < 0.1$), así como una correlación inversa con la temperatura de fondo ($r_s = -0.7$; $p < 0.1$). Las concentraciones totales de LIP y CHO mostraron una correlación positiva entre sí ($r_s = 0.9$; $p < 0.05$). La concentración total de LIP exhibió una correlación directa con la temperatura de fondo y la profundidad ($r_s = 1.0$; $p < 0.05$). La concentración total de PRT solamente exhibió una correlación positiva con el cociente Cl-a: feop. Cabe mencionar que ninguna de estas variables mostró correlación alguna con el OD (Tabla 16).

6.4.1.2. Columna de sedimento.

Se describen las correlaciones entre las variables fisicoquímicas y biogeoquímicas determinadas en la columna de sedimento.

La concentración total de Cl-a exhibió una correlación positiva con la concentración de feopigmentos ($r_s = 0.9$; $p < 0.05$), con la concentración total de LIP ($r_s = 0.9$; $p < 0.05$), con la concentración total de PRT ($r_s = 0.4$; $p < 0.5$) y con la concentración total de CHO ($r_s = 0.9$; $p < 0.05$). La concentración de feopigmentos exhibió una correlación positiva con la concentración total de LIP ($r_s = 0.9$; $p < 0.05$) y con la concentración total de CHO ($r_s = 0.8$; $p < 0.05$), mostró además una correlación inversa con el cociente Cl-a: feop ($r_s = -0.6$; $p < 0.05$). La concentración total de LIP mostró una correlación positiva con la concentración total de CHO ($r_s = 0.8$; $p < 0.05$) y una correlación inversa con el cociente Cl-a: feop ($r_s = -0.40$; $p < 0.05$). La concentración total de PRT exhibió una correlación positiva con la concentración total de CHO ($r_s = 0.5$; $p < 0.05$) (Tabla 17).

Tabla 16. Correlaciones de rango de Spearman en el primer centímetro de sedimento entre variables, biogeoquímicas totales. Correlación significativa ($p < 0,1$).

N = 5		Feop	Cl-a	Cl-a : Feop	PRT	CHO	LIP	Z	T°
Cl-a	Correlación	.900							
	Sig.	.037							
Cl-a : Feop	Correlación	-.500	-.200						
	Sig.	.391	.747						
PRT	Correlación	.100	.500	.700					
	Sig.	.873	.391	.088					
CHO	Correlación	.900	1.000	-.200	.500				
	Sig.	.037	.	.747	.391				
LIP	Correlación	.700	.900	-.100	.600	.900			
	Sig.	.088	.037	.873	.285	.037			
Z	Correlación	.700	.900	-.100	.600	.900	1.000		
	Sig.	.188	.037	.873	.285	.037	.		
T°	Correlación	-.700	-.900	.100	-.600	-.900	-1.000	-1.000	
	Sig.	.188	.037	.873	.285	.037	.	.	
OD	Correlación	-.100	-.300	.300	-.200	-.300	-.400	-.400	.400
	Sig.	.873	.624	.624	.747	.624	.505	.505	.505

Tabla 17. Correlaciones de rango de Spearman en la columna de sedimento entre variables biogeoquímicas totales ($p < 0,1$).

N = 20		Feop	Cl-a	Cl-a : Feop	PRT	CHO
Cl-a	Correlación	.949				
	Sig.	.000				
Cl-a : Feop	Correlación	-.623	-.384			
	Sig.	.003	.094			
PRT	Correlación	.325	.405	-.140		
	Sig.	.162	.077	.556		
CHO	Correlación	.811	.854	-.244	.504	
	Sig.	.000	.000	.299	.024	
LIP	Correlación	.869	.886	-.374	.301	.839
	Sig.	.000	.000	.100	.198	.000

6.4.2. Parámetros Sedimentarios y Biológicos.

6.4.2.1. Primer centímetro de sedimento.

Se describen las correlaciones de rango de Spearman entre las variables fisicoquímicas, biogeoquímicas y biológicas para el primer centímetro de la columna de sedimento.

6.4.2.1.1. Meiofauna metazoaria.

La abundancia de la Meiofauna metazoaria presentó una correlación positiva con la temperatura de fondo ($r_s = 0.7$; $p < 0.1$), una correlación positiva con la concentración lábil de Cl-a ($r_s = 0.7$; $p < 0.1$), una correlación inversa con la concentración lábil de LIP ($r_s = -0.8$; $p < 0.1$) y una correlación inversa con la profundidad ($r_s = -0.7$; $p < 0.1$). La diversidad de la meiofauna metazoaria exhibió una correlación positiva con la temperatura de fondo ($r_s = 0.7$; $p < 0.1$), con la concentración de oxígeno disuelto (OD) ($r_s = 0.7$; $p < 0.1$), una correlación inversa con la concentración de feopigmentos ($r_s = -0.7$; $p < 0.1$), y una correlación inversa con la profundidad ($r_s = -0.7$; $p < 0.1$). La biomasa de la Meiofauna metazoaria exhibió una correlación positiva con la concentración lábil de CHO ($r_s = 0.9$; $p < 0.05$), con la concentración lábil de PRT ($r_s = 0.8$; $p < 0.1$) y con el cociente Cl-a: feop ($r_s = 0.9$; $p < 0.05$) (Tabla 18).

6.4.2.1.2. Meiofauna protozoaria.

La abundancia de la meiofauna protozoaria exhibió una correlación inversa con la concentración de feopigmentos ($r_s = -0.9$; $p < 0.05$). La diversidad de la meiofauna protozoaria exhibió una correlación positiva con la concentración de feopigmentos ($r_s = -0.8$; $p < 0.05$) y con la concentración lábil de CHO ($r_s = 0.8$; $p < 0.1$). Los foraminíferos calcáreos, los cuales dominaron la composición de la abundancia de la meiofauna protozoaria, presentaron una correlación negativa con el contenido de feopigmentos ($r_s = -0.8$; $p < 0.1$), con la profundidad ($r_s = -0.7$; $p < 0.1$) y una correlación positiva con la temperatura de fondo ($r_s = 0.7$; $p < 0.1$). Los foraminíferos aglutinados y tectináceos exhibieron una correlación negativa con la concentración lábil de CHO ($r_s = -0.7$; $p < 0.1$) y con el OD ($r_s = -0.8$; $p < 0.1$) (Tabla 19).

6.4.2.1.3. Macrofauna.

La abundancia de la macrofauna exhibió una correlación inversa con la concentración lábil de CHO ($r_s = -0.8$; $p < 0.1$). La diversidad de la Macrofauna exhibió una correlación positiva con la temperatura de fondo ($r_s = 0.9$; $p < 0.05$), una correlación inversa con la concentración lábil de LIP ($r_s = -0.70$; $p < 0.1$) y una correlación inversa con la profundidad ($r_s = -0.9$; $p < 0.05$). La biomasa de la macrofauna exhibió una

correlación positiva con la temperatura de fondo ($r_s = 0.7$; $p < 0.1$), una correlación inversa con la concentración lábil de PRT ($r_s = -0.7$; $p < 0.1$), una correlación inversa con la concentración lábil de LIP ($r_s = -0.7$; $p < 0.1$) y una correlación inversa con la profundidad ($r_s = -0.7$; $p < 0.1$) (Tabla 20).

6.4.2.2. Columna de sedimento.

Se describen las correlaciones de rango de Spearman entre las variables fisicoquímicas, biogeoquímicas y biológicas para los 10 primeros centímetros de la columna sedimento.

6.4.2.2.1. Meiofauna metazoaria.

La abundancia de la Meiofauna metazoaria exhibió una correlación positiva con la concentración lábil de Cl-a ($r_s = 0.4$; $p < 0.05$), con la concentración lábil de PRT ($r_s = 0.8$; $p < 0.05$) y con la concentración lábil de CHO ($r_s = 0.7$; $p < 0.05$). La diversidad de la Meiofauna metazoaria exhibió una correlación positiva con la concentración lábil de Cl-a ($r_s = 0.5$; $p < 0.05$), con la concentración lábil de PRT ($r_s = 0.8$; $p < 0.05$), con la concentración lábil de LIP ($r_s = 0.4$; $p < 0.05$) y con la concentración lábil de CHO ($r_s = 0.7$; $p < 0.05$). La biomasa de la Meiofauna metazoaria exhibió una correlación positiva con la concentración lábil de Cl-a ($r_s = 0.5$; $p < 0.05$), con la concentración lábil de PRT ($r_s = 0.8$; $p < 0.05$) y con la concentración lábil de CHO ($r_s = 0.7$; $p < 0.05$) (Tabla 21).

6.4.2.1.2. Meiofauna protozoaria.

La abundancia de la Meiofauna protozoaria exhibió una correlación positiva con la concentración lábil de PRT ($r_s = 0.7$; $p < 0.05$), con la concentración lábil de CHO ($r_s = 0.4$; $p < 0.05$) y una correlación inversa con el cociente Cl-a: feop ($r_s = -0.5$; $p < 0.05$). Los foraminíferos calcáreos exhibieron una correlación positiva con la concentración lábil de Cl-a ($r_s = 0.4$; $p < 0.05$), con la concentración lábil de PRT ($r_s = 0.6$; $p < 0.05$), con la concentración lábil de CHO ($r_s = 0.5$; $p < 0.05$) y con la concentración lábil de LIP ($r_s = 0.4$; $p < 0.1$). Los foraminíferos Aglutinados exhibieron una correlación positiva con la concentración de feopigmentos ($r_s = 0.5$; $p < 0.05$), con la concentración lábil de Cl-a ($r_s = 0.5$; $p < 0.05$), con la concentración lábil de PRT ($r_s = 0.5$; $p < 0.05$) y con la concentración lábil de LIP ($r_s = 0.4$; $p < 0.05$), además exhibieron una correlación inversa con el cociente Cl-a: feop ($r_s = -0.7$; $p < 0.05$). Los foraminíferos tectináceos exhibieron una correlación positiva con la concentración lábil de PRT ($r_s = 0.4$; $p < 0.1$) y una correlación inversa con el cociente Cl-a: feop ($r_s = -0.7$; $p < 0.05$). La diversidad de la meiofauna protozoaria exhibió una correlación positiva con la concentración lábil de PRT ($r_s = 0.6$; $p < 0.05$), con la concentración lábil de LIP ($r_s = 0.4$; $p < 0.05$) y con la concentración lábil de CHO ($r_s = 0.5$; $p < 0.05$), además exhibió una correlación inversa con el cociente Cl-a: feop ($r_s = -0.4$; $p < 0.05$) (Tabla 22).

6.4.3. Parámetros sedimentarios y meiofauna metazoaria.

Se describen las correlaciones de rango de Spearman entre las variables fisicoquímicas, biogeoquímicas y los distintos grupos que mejor representan a la meiofauna metazoaria con el objetivo de obtener una mejor resolución de la influencia de las variables independientes sobre la comunidad.

6.4.3.1. Primer centímetro de sedimento.

La abundancia de Nematodos exhibió una correlación positiva con la temperatura de fondo ($r_s = 0.7$; $p < 0.1$), una correlación positiva con la concentración lábil de Cl-a ($r_s = 0.7$; $p < 0.1$), una correlación inversa con la concentración lábil de LIP ($r_s = -0.8$; $p < 0.05$) y una correlación inversa con la profundidad ($r_s = -0.7$; $p < 0.1$). La abundancia de Nemertinos exhibió una correlación positiva con el cociente Cl-a: feop ($r_s = 0.7$; $p < 0.1$), una correlación positiva con la concentración lábil de CHO ($r_s = 0.7$; $p < 0.1$) y una correlación positiva con el OD ($r_s = 0.7$; $p < 0.1$). La abundancia de Gastrotrichia exhibió una correlación positiva con la concentración lábil de LIP ($r_s = 0.9$; $p < 0.05$), una correlación positiva con la profundidad ($r_s = 0.9$; $p < 0.05$) y una correlación inversa con la temperatura de fondo. ($r_s = -0.9$; $p < 0.05$). La abundancia de Poliquetos exhibió una correlación inversa la concentración de feopigmentos ($r_s = -0.8$; $p < 0.05$), una correlación inversa con la profundidad (r_s

= -0.8; $p < 0,05$) y una correlación positiva con la temperatura de fondo. ($r_s = -0.8$; $p < 0,05$). La abundancia de Cnidarios, Crustáceos y Bivalvos exhibieron correlaciones positivas con la temperatura y oxígeno de fondo ($r_s = 0.5$; $p < 0.05$). (Tabla 18).

6.4.3.2. Columna de sedimento.

La abundancia de Nematodos exhibió una correlación positiva con la concentración lábil de Cl-a ($r_s = 0.4$; $p < 0.05$), con la concentración lábil de PRT ($r_s = 0,8$; $p < 0.05$) y con la concentración lábil de CHO ($r_s > 0.8$; $p < 0.05$). La abundancia de Nemertinos exhibió una correlación positiva con la concentración lábil de PRT ($r_s = 0.6$; $p < 0.05$) y una correlación positiva con la concentración lábil de CHO ($r_s = 0.5$; $p < 0.05$). La abundancia de Gastrotrichia exhibió una correlación positiva con los feopigmentos ($r_s = 0.6$; $p < 0.05$), una correlación positiva con la concentración lábil de PRT ($r_s = 0.5$; $p < 0.05$), una correlación positiva con la concentración lábil de LIP ($r_s = 0.4$; $p < 0.1$) y una correlación inversa con el cociente Cl-a: feop. ($r_s = -0.5$; $p < 0.05$). La abundancia de Poliquetos exhibió una correlación positiva con el contenido lábil de PRT ($r_s = 0.6$; $p < 0.1$), una correlación positiva con el contenido lábil de LIP ($r_s = 0.4$; $p < 0.1$), una correlación positiva con el contenido lábil de CHO ($r_s = 0.4$; $p < 0.1$) y una correlación inversa con el cociente Cl-a: feop. ($r_s = -0.4$; $p < 0.1$). (Tabla 21).

Tabla 18. Correlaciones de rango de Spearman en el primer centímetro de sedimento entre variables fisicoquímicas, biogeoquímicas y la meiofauna metazoaria. Correlación significativa ($p < 0,1$).

N = 5		Feop	Cl-a	Cl-a : feop	PRT	CHO	LIP	Z	T°	OD	N	S	B	Nematoda	Nemertea	Gastrotrichia
Cl-a	Correlación	.200														
	Sig.	.747														
Cl-a : feop	Correlación	-.500	-.100													
	Sig.	.391	.873													
PRT	Correlación	-.300	.000	.900												
	Sig.	.624	1.000	.037												
CHO	Correlación	-.100	.100	.800	.600											
	Sig.	.873	.873	.104	.285											
LIP	Correlación	.300	-.800	.100	.200	.000										
	Sig.	.624	.104	.873	.747	1.000										
Z	Correlación	.700	-.300	-.100	.200	-.100	.800									
	Sig.	.188	.624	.873	.747	.873	.104									
T°	Correlación	-.700	.300	.100	-.200	.100	-.800	-1.000								
	Sig.	.188	.624	.873	.747	.873	.104									
OD	Correlación	-.100	-.100	.300	-.100	.700	-.100	-.400	.400							
	Sig.	.873	.873	.624	.873	.188	.873	.505	.505							
N	Correlación	-.300	.700	.400	.200	.600	-.800	-.700	.700	.500						
	Sig.	.624	.080	.505	.747	.285	.100	.080	.080	.391						
S	Correlación	-.707	.000	.707	.354	.707	-.354	-.707	.707	.707	.707					
	Sig.	.100	1.000	.182	.559	.182	.559	.100	.100	.100	.182					
B	Correlación	-.300	.300	.900	.800	.900	-.200	-.200	.200	.400	.700	.707				
	Sig.	.624	.624	.037	.100	.037	.747	.747	.747	.505	.188	.182				
Nematoda	Correlación	-.300	.700	.400	.200	.600	-.800	-.700	.700	.500	1.000	.707	.700			
	Sig.	.624	.088	.505	.747	.285	.041	.088	.088	.391		.182	.188			
Nemertea	Correlación	-.400	-.600	.700	.400	.700	.400	-.100	.100	.700	.100	.707	.500	.100		
	Sig.	.505	.285	.088	.505	.088	.505	.873	.873	.088	.873	.182	.391	.873		
Gastrotrichia	Correlación	.564	-.410	.103	.359	.051	.872	.975	-.975	-.308	-.667	-.544	-.051	-.667	.103	
	Sig.	.322	.493	.870	.553	.935	.054	.005	.005	.614	.219	.343	.935	.219	.870	
Polychaeta	Correlación	-.894	.224	.447	.224	.224	-.671	-.894	.894	.224	.671	.791	.447	.671	.224	-.803
	Sig.	.041	.718	.450	.718	.718	.215	.041	.041	.718	.215	.111	.450	.215	.718	.102

Tabla 19. Correlaciones de rango de Spearman en el primer centímetro de sedimento entre variables fisicoquímicas, biogeoquímicas y la meiofauna protozoaria. Correlación significativa ($p < 0,1$).

N = 5		Feop	Cl-a	Cl-a : feop	PRT	CHO	LIP	T°	OD	Z	N	S	Calcareos	Aglutinados
Cl-a	Correlación	.200												
	Sig.	.747												
Cl-a : feop	Correlación	-.500	-.100											
	Sig.	.391	.873											
PRT	Correlación	-.300	.000	.900										
	Sig.	.624	1.000	.037										
CHO	Correlación	-.100	.100	.800	.600									
	Sig.	.873	.873	.104	.285									
LIP	Correlación	.300	-.800	.100	.200	.000								
	Sig.	.624	.104	.873	.747	1.000								
T°	Correlación	-.700	.300	.100	-.200	.100	-.800							
	Sig.	.188	.624	.873	.747	.873	.104							
OD	Correlación	-.100	-.100	.300	-.100	.700	-.100	.400						
	Sig.	.873	.873	.624	.873	.188	.873	.505						
Z	Correlación	.700	-.300	-.100	.200	-.100	.800	-1.000	-.400					
	Sig.	.188	.624	.873	.747	.873	.104	.	.505					
N	Correlación	-.900	-.400	.200	.100	-.300	-.100	.500	-.200	-.500				
	Sig.	.037	.505	.747	.873	.624	.873	.391	.747	.391				
S	Correlación	.783	.671	-.112	.112	.224	-.112	-.447	-.112	.447	-.894			
	Sig.	.100	.215	.858	.858	.718	.858	.450	.858	.450	.041			
Calcareos	Correlación	-.800	-.300	-.100	-.300	-.400	-.300	.700	.000	-.700	.900	-.894		
	Sig.	.100	.624	.873	.624	.505	.624	.100	1.000	.100	.037	.041		
Aglutinados	Correlación	.100	-.500	-.300	.000	-.700	.600	-.600	-.800	.600	.300	-.224	.100	
	Sig.	.873	.391	.624	1.000	.100	.285	.285	.100	.285	.624	.718	.873	
Tectinaceos	Correlación	.100	.100	-.300	.100	-.700	.100	-.400	-1.000	.400	.200	.112	.000	.800
	Sig.	.873	.873	.624	.873	.100	.873	.505	.	.505	.747	.858	1.000	.104

Tabla 20. Correlaciones de rango de Spearman en el primer centímetro de sedimento entre variables fisicoquímicas, biogeoquímicas lábiles y la macrofauna. Correlación significativa ($p < 0,1$).

N = 5		Feop	Cl-a	Cl-a : feop	PRT	CHO	LIP	T°	OD	Z	N	S	B	<i>A. araucana</i>	Nemertea	<i>N. ferruginea</i>	<i>P. pinnata</i>
Cl-a	Correlación	.200															
	Sig.	.747															
Cl-a : feop	Correlación	-.667	-.154														
	Sig.	.219	.805														
PRT	Correlación	-.300	.000	.872													
	Sig.	.624	1.000	.054													
CHO	Correlación	-.100	.100	.667	.600												
	Sig.	.873	.873	.219	.285												
LIP	Correlación	.300	-.800	.051	.200	.000											
	Sig.	.624	.104	.935	.747	1.000											
T°	Correlación	-.700	.300	.205	-.200	.100	-.800										
	Sig.	.188	.624	.741	.747	.873	.104										
OD	Correlación	-.100	-.100	.205	-.100	.700	-.100	.400									
	Sig.	.873	.873	.741	.873	.188	.873	.505									
Z	Correlación	.700	-.300	-.205	.200	-.100	.800	-1.000	-.400								
	Sig.	.188	.624	.741	.747	.873	.104	.505									
N	Correlación	-.100	.400	-.564	-.600	-.800	-.600	.400	-.500	-.400							
	Sig.	.873	.505	.322	.285	.100	.285	.505	.391	.505							
S	Correlación	-.616	.205	.132	-.308	.154	-.718	.975	.564	-.975	.308						
	Sig.	.269	.741	.833	.614	.805	.100	.005	.322	.005	.614						
B	Correlación	-.300	.300	-.462	-.700	-.600	-.700	.700	-.100	-.700	.900	.667					
	Sig.	.624	.624	.434	.088	.285	.088	.088	.873	.088	.037	.219					
<i>A. araucana</i>	Correlación	-.821	.308	.763	.564	.359	-.564	.667	.051	-.667	.051	.526	.154				
	Sig.	.089	.614	.100	.322	.553	.322	.219	.935	.219	.935	.362	.805				
Nemertea	Correlación	-.112	.671	-.229	-.447	.112	-.894	.783	.447	-.783	.447	.803	.671	.287			
	Sig.	.858	.215	.710	.450	.858	.041	.018	.450	.018	.450	.102	.215	.640			
<i>N. ferruginea</i>	Correlación	-.821	-.205	.289	-.205	.051	-.410	.872	.462	-.872	.205	.895	.564	.526	.459		
	Sig.	.089	.741	.637	.741	.935	.493	.054	.434	.054	.741	.040	.322	.362	.437		
<i>P. pinnata</i>	Correlación	-.300	.000	-.410	-.500	-.900	-.300	.300	-.600	-.300	.900	.205	.800	.051	.112	.308	
	Sig.	.624	1.000	.493	.391	.037	.624	.624	.285	.624	.037	.741	.104	.935	.858	.614	
<i>S. bassi</i>	Correlación	-.447	.447	.229	-.112	.447	-.783	.894	.671	-.894	.112	.918	.447	.574	.875	.688	-.112
	Sig.	.450	.450	.710	.858	.450	.100	.041	.215	.041	.858	.028	.450	.312	.052	.199	.858

Tabla 21. Correlaciones de rango de Spearman en la columna de sedimento entre variables fisicoquímicas, biogeoquímicas lábiles y la meiofauna metazoaria. Correlación significativa ($p < 0,1$).

N = 20		Feop	Cl-a	Cla : feop	PRT	CHO	LIP	N	S	B	Nematoda	Nemertea	Gastrotrichia
Cl-a	Correlación	.645											
	Sig.	.002											
Cl-a : feop	Correlación	-.623	-.265										
	Sig.	.003	.258										
PRT	Correlación	.232	.605	-.223									
	Sig.	.326	.005	.345									
CHO	Correlación	.197	.624	-.016	.753								
	Sig.	.405	.003	.947	.000								
LIP	Correlación	.556	.529	-.404	.533	.528							
	Sig.	.011	.017	.077	.015	.017							
N	Correlación	-.003	.417	-.208	.765	.749	.292						
	Sig.	.990	.067	.378	.000	.000	.212						
S	Correlación	.095	.468	-.335	.769	.680	.425	.921					
	Sig.	.691	.037	.149	.000	.001	.062	.000					
B	Correlación	.013	.446	-.161	.765	.732	.287	.971	.872				
	Sig.	.957	.049	.498	.000	.000	.220	.000	.000				
Nematoda	Correlación	-.007	.443	-.197	.778	.757	.267	.995	.911	.966			
	Sig.	.977	.050	.405	.000	.000	.255	.000	.000	.000			
Nemertea	Correlación	-.125	.141	-.159	.618	.553	.363	.826	.853	.822	.812		
	Sig.	.599	.554	.502	.004	.010	.116	.000	.000	.000	.000		
Gastrotrichia	Correlación	.564	.363	-.517	.499	.281	.423	.424	.566	.446	.402	.508	
	Sig.	.010	.115	.020	.025	.229	.063	.062	.009	.048	.079	.022	
Polychaeta	Correlación	.096	.350	-.438	.602	.413	.436	.660	.811	.579	.637	.563	.353
	Sig.	.689	.131	.053	.005	.071	.055	.002	.000	.008	.002	.010	.127

Tabla 22. Correlaciones de rango de Spearman en la columna de sedimento entre variables fisicoquímicas, biogeoquímicas lábiles y la meiofauna protozoaria. Correlación significativa ($p < 0,1$).

N = 20		Feop	Cl-a	Cl-a : feop	PRT	CHO	LIP	N	S	Calcareos	Aglutinados
Cl-a	Correlación	.645									
	Sig.	.002									
Cl-a : feop	Correlación	-.623	-.265								
	Sig.	.003	.258								
PRT	Correlación	.232	.605	-.223							
	Sig.	.326	.005	.345							
CHO	Correlación	.197	.624	-.016	.753						
	Sig.	.405	.003	.947	.000						
LIP	Correlación	.556	.529	-.404	.533	.528					
	Sig.	.011	.017	.077	.015	.017					
N	Correlación	.079	.367	-.454	.706	.430	.368				
	Sig.	.741	.111	.045	.001	.058	.111				
S	Correlación	.267	.362	-.425	.561	.490	.435	.792			
	Sig.	.255	.116	.062	.010	.028	.055	.000			
Calcareos	Correlación	.143	.441	-.190	.631	.535	.410	.838	.801		
	Sig.	.547	.052	.421	.003	.015	.073	.000	.000		
Aglutinados	Correlación	.511	.504	-.661	.486	.369	.425	.615	.714	.628	
	Sig.	.021	.023	.002	.030	.110	.062	.004	.000	.003	
Tectinaceos	Correlación	.133	.156	-.714	.403	.124	.250	.746	.411	.416	.535
	Sig.	.576	.512	.000	.078	.602	.287	.000	.072	.068	.015

6.4.4. Agrupamiento por sitios de muestreo.

Estas conformaciones fueron caracterizadas en base a las presencias y ausencias de cada organismo en cada una de las comunidades ubicadas en la plataforma interna, intermedia y externa (índice de similitud de Bray-Curtis).

Se observó para la comunidad de la meiofauna metazoaria la conformación de dos grupos, el primero conformado por la estación E1 y el segundo formado por las demás estaciones ubicadas en la plataforma intermedia y externa. (Figura 25).

Para la comunidad de la macrofauna se observó la conformación de 2 grupos, el primero formado por las estaciones E1, E2 y E3 (Plataforma interna e intermedia) y el segundo formado por las estaciones E4 y E5 (Plataforma externa) (Figura 26).

Por ultimo, para la comunidad de la meiofauna protozoaria se observó la conformación de 3 grupos, el primero formado por las estaciones E1 y E2 (Plataforma interna), el segundo formado por la estación E3 (Plataforma intermedia) y el tercero formado por las estaciones E4 y E5 (Plataforma externa) (Figura 27).

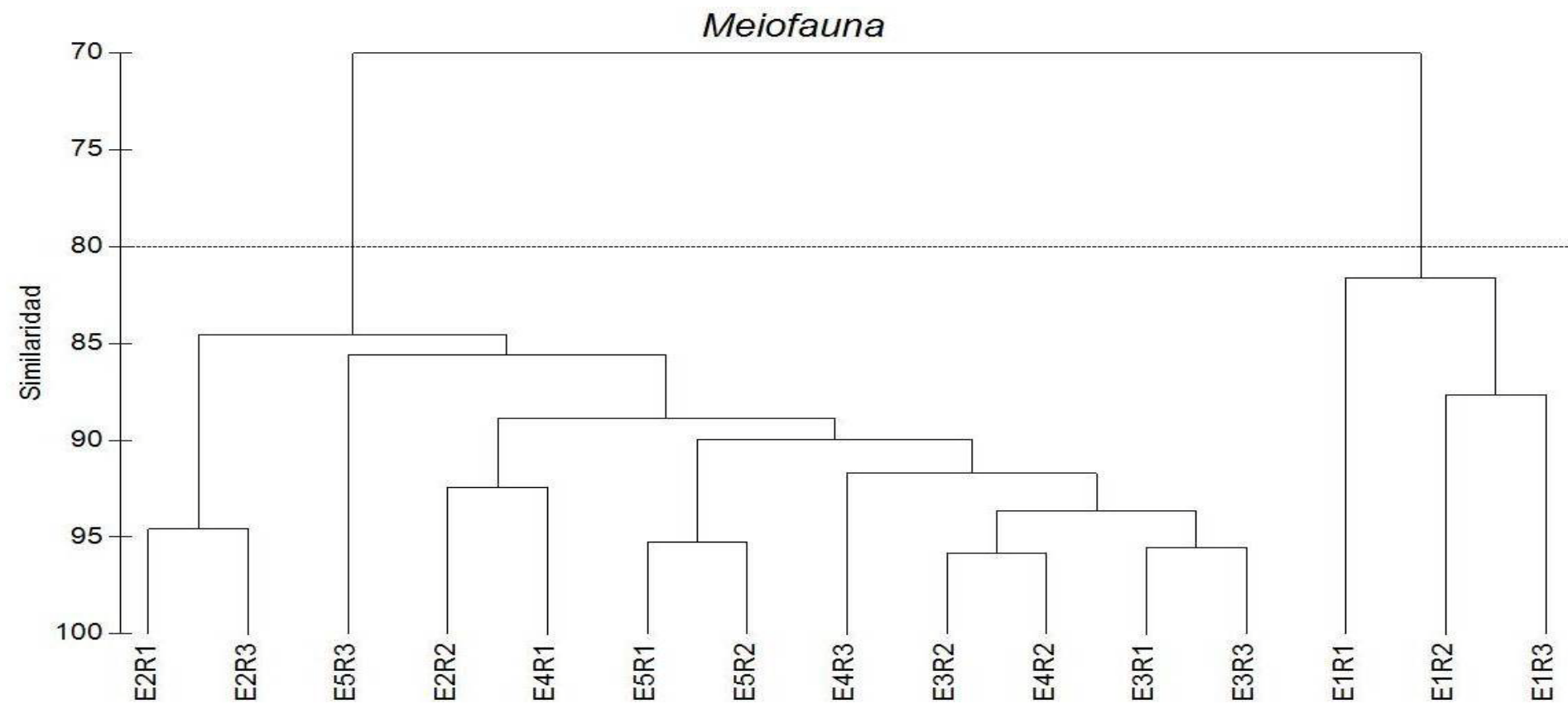


Figura 25. Agrupamiento por sitios de muestreo en base al índice de similitud de Bray-Curtis a partir de la matriz de abundancias de la meiofauna metazoaria.

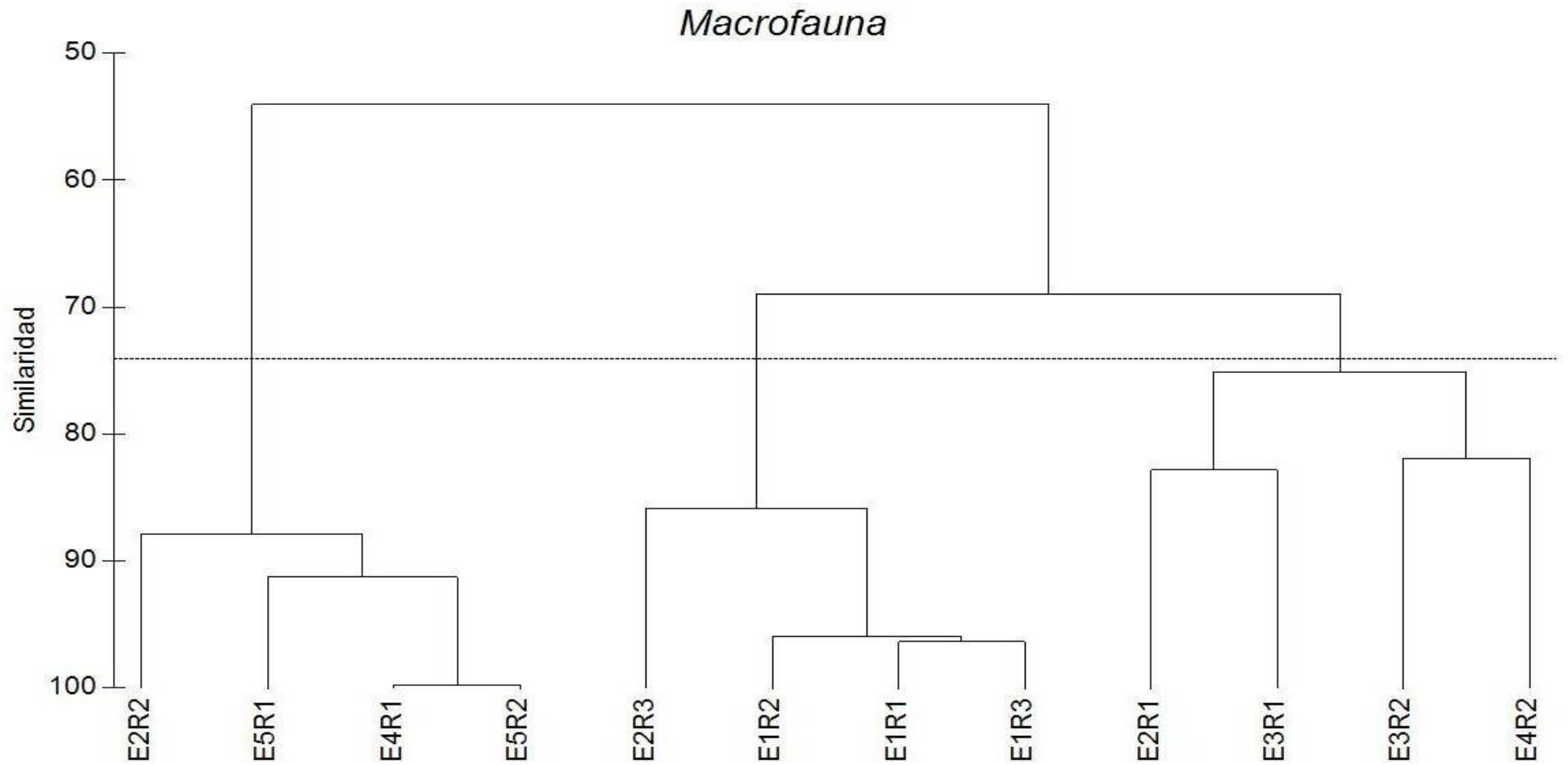


Figura 26. Agrupamiento por sitios de muestreo en base al índice de similitud de Bray-Curtis a partir de la matriz de abundancias de la macrofauna.

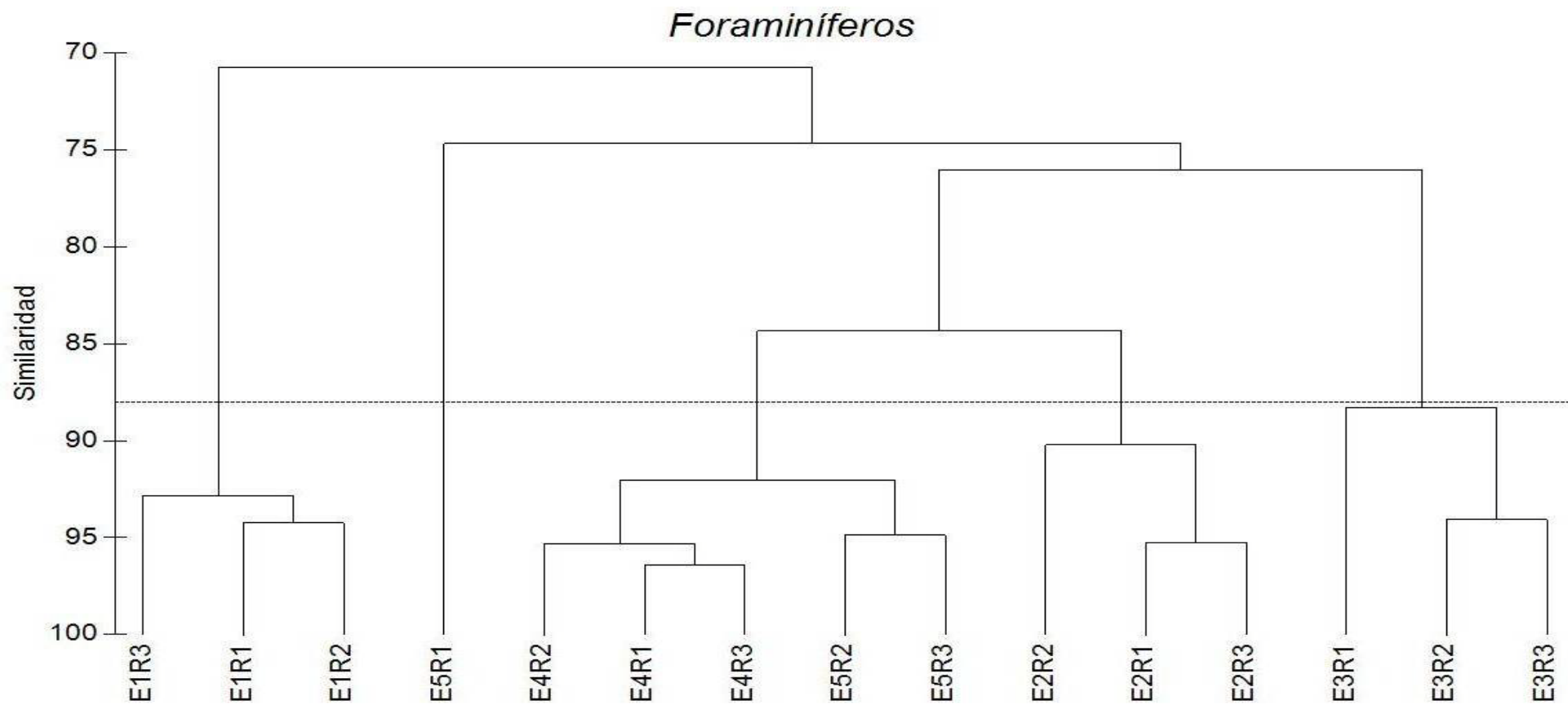


Figura 27. Agrupamiento por sitios de muestreo en base al índice de similitud de Bray-Curtis a partir de la matriz de abundancias de la meiofauna protozoaria.

7. Discusión.

7.1. Condiciones Oceanográficas.

A partir del mes diciembre del 2009 se detectaron condiciones características de un evento “El Niño” de intensidad leve. Estas condiciones se mantuvieron constantes hasta el mes de Marzo del 2010 en donde se detectó un retorno hacia las condiciones normales en el sistema. Las condiciones oceanográficas en el mes de abril 2010 (mes del muestreo) indicaron la normalización de los sistemas de circulación océano- atmosférica para el litoral Peruano. En ese mes prevalecieron anomalías positivas de TSM, las cuales fluctuaron entre $+0,1^{\circ}$ y $+0,7^{\circ}\text{C}$. A pesar de ello, las zonas de Callao e Ilo presentaron anomalías negativas de $-0,5^{\circ}$ y $-0,2^{\circ}\text{C}$ respectivamente (ENFEN, 2010). Dado el contexto oceanográfico descrito, este estudio se realizó durante un periodo de transición con rezagos de un evento cálido (ENFEN, 2010).

La figura 28 muestra las condiciones físico-químicas (temperatura y OD) frente a Callao entre Abril del 2009 (periodo no-El Niño), Enero del 2010 (periodo de pleno desarrollo del evento El Niño) y Abril 2010 (periodo posterior al evento El Niño) (Gutiérrez et al., 2009; 2010).

En Abril del 2009 se registró una oxiclina somera en la columna de agua (Cardich et al., 2011). Sobre la plataforma, la iso-oxígena de $0,5 \text{ mL.L}^{-1}$ y la isoterma de 15°C se ubicaron entre <20 y 40 metros de profundidad (Figura 28.A). Por lo tanto, en este periodo se observó la influencia de la ZMO sobre todas las estaciones de muestreo ubicadas entre 3 y 30 millas náuticas de distancia con respecto a la costa (estaciones 1 y 5, respectivamente) (Tabla. 1). En Enero del 2010 se registró una oxiclina profundizada, asociada a un claro flujo subsuperficial de norte a sur típica de eventos El Niño, modificando la estructura vertical de la columna de agua. Así, la iso-oxígena de $0,5 \text{ mL.L}^{-1}$ se profundizó a 100 metros y la isoterma de 15°C a 120 metros de profundidad. En este periodo se observó que niveles $> 0,5 \text{ mL.L}^{-1}$ de OD influenciaron sobre las estaciones de la plataforma interna ubicadas entre 3 y 8 millas náuticas de distancia (estaciones 1 y 2, respectivamente) con respecto a la costa (Figura 28.B).

En Abril del 2010 la oxiclina se superficializó en relación a enero 2010, con la iso-oxígena de $0,5 \text{ mL.L}^{-1}$ a 20 metros de profundidad en promedio. En este perfil se observó un predominio de la deficiencia de oxígeno sobre todas las estaciones de muestreo ubicadas entre 3 y 30 millas náuticas de distancia con respecto a la costa (Tabla 1) (Figura 28.C).

Las estaciones E1, E2 y E5 presentaron niveles de oxígeno más altos que las estaciones E3 y E4 (Tabla 4), posiblemente debido a procesos de mezcla y de meso escala asociados a rezagos del evento cálido anterior al periodo de estudio. Los valores promedio de OD fueron parecidos a los registrados en periodos fríos en la misma zona (niveles bajos de oxígeno debido a una intrusión de aguas poco ventiladas y a la intensa actividad biogeoquímica característica de la región), con valores por debajo de $0,5 \text{ ml.L}^{-1}$ (Graco et al., 2007; Gutiérrez et al., 2008; Paulmier et al., 2008; Messié et al., 2009).

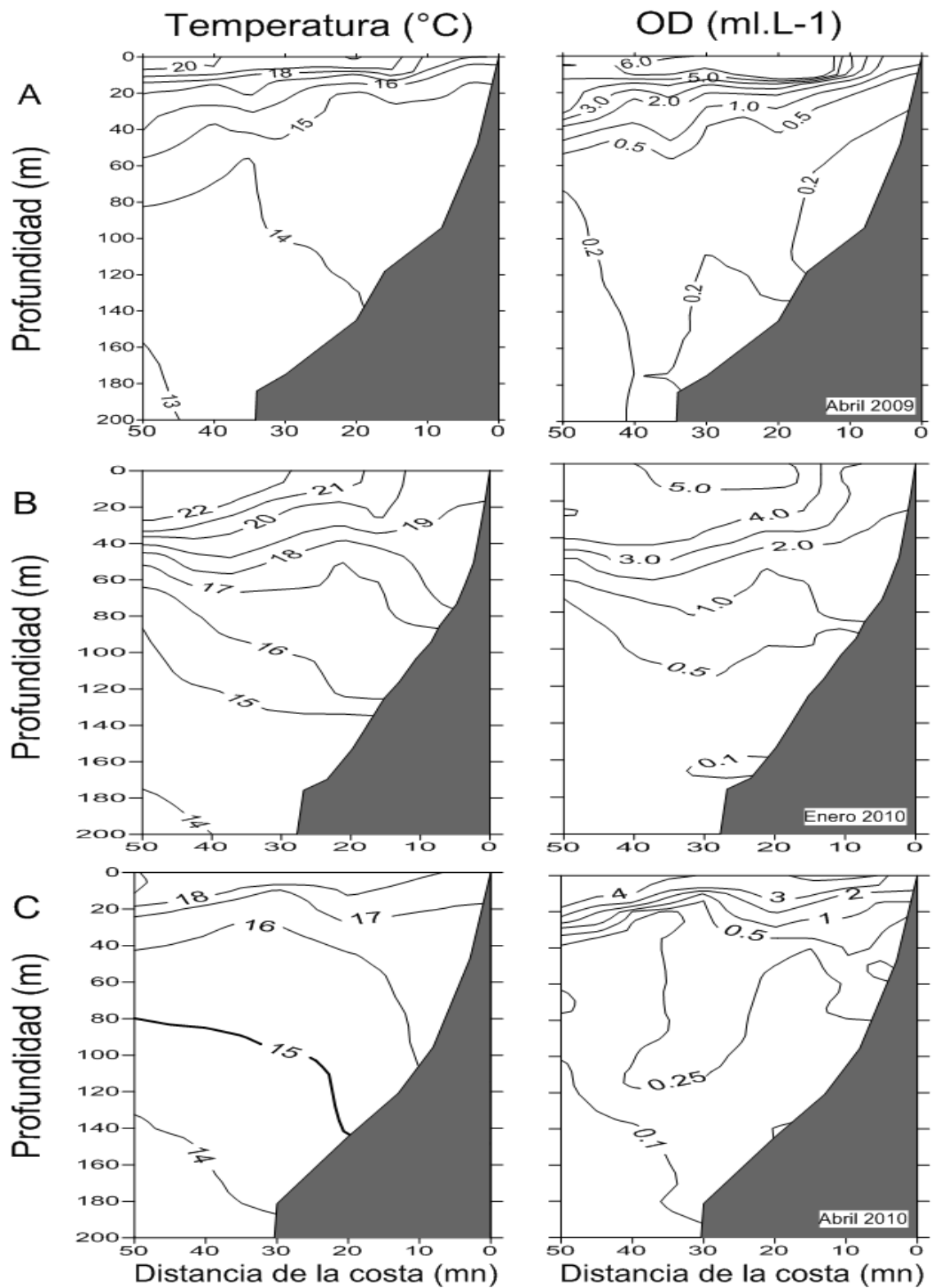


Figura 28. Distribución vertical de la temperatura y OD en la columna de agua para la línea Callao durante A) Crucero CRIO 0904. B) Crucero MINIOX 1001. C) Crucero CRIO 1004.

7.2. Distribución y concentración de los principales indicadores biogeoquímicos.

7.2.1 Efecto de EN 2009-2010 sobre la concentración de cloropigmentos.

Durante el evento El Niño 97-98 se registraron valores mucho más bajos de Cl-a ($1-3 \mu\text{g.g}^{-1}$) en sedimento superficial frente a Concepción en Chile central, lo que indicaría que las concentraciones de Cl-a en sedimentos son sensibles a la oxigenación sobre todo en los centímetros superficiales más expuestos (Sellanes, 2002). Durante eventos El Niño ocurren fuertes pulsos de oxigenación de la columna de agua debido principalmente a la intrusión de ondas Kelvin y debilitamiento de las surgencias, gatillándose la degradación significativa de la materia orgánica que llega al sedimento (Neira et al., 2001b; Sellanes, 2002). Por lo tanto, posiblemente la distribución de las concentraciones de Cl-a durante este estudio obedezcan principalmente a dos procesos: 1. La reducción de la tasa de producción exportada hacia los sedimentos (Gutiérrez et al., 2008); 2. La oxigenación propiciada por el evento El Niño 2009 -2010 sobre todo en la estación E1 y E2, dando como resultado bajas concentraciones totales de Cl-a en la plataforma interna en comparación a lo reportado para la serie de tiempo de Callao en años anteriores.

7.2.2. Indicadores de calidad de materia orgánica en otros sistemas marino-costeros.

7.2.2.1. Cloropigmentos.

Las concentraciones totales de cloropigmentos (Cl-a y feopigmentos) en el sedimento frente a Callao advierten una mayor preservación de fitodetritus hacia las estaciones ubicadas en la plataforma externa. Durante Abril del 2010 los niveles de Cl-a en el primer centímetro de sedimento (Tabla 6) mostraron claras variaciones batimétricas, registrándose valores más bajos ($34 - 56 \mu\text{g.g}^{-1}$) para las estaciones ubicadas en la plataforma interna e intermedia y valores más altos ($71 - 83 \mu\text{g.g}^{-1}$) para las estaciones pertenecientes a la plataforma externa. Estos valores fueron menores a los encontrados en la misma área de estudio en abril 2009, considerado un año 'normal' (Cardich et al., 2011), en donde las concentraciones de Cl-a fueron claramente mayores en el periodo verano-otoño ($100 - 500 \mu\text{g.g}^{-1}$) y en invierno ($< 100 \mu\text{g.g}^{-1}$). También son comparables a los resultados obtenidos por Sellanes (2002), para un gradiente batimétrico de la plataforma continental en Chile central, registrándose un mínimo valor de $1,15 \mu\text{g.g}^{-1}$ a 64m de profundidad y un máximo de $2,04 \mu\text{g.g}^{-1}$ a 120m de profundidad en noviembre de 1997, época de pleno desarrollo del evento extraordinario El Niño 97-98.

7.2.2.2. Razón Cl-a: feopigmentos

La razón Cl-a: feopigmentos (Cl-a: feop.), descrita como indicador del estado de degradación del detritus en el sedimento (Gutiérrez, 2000; Sellanes, 2002), mostró un mayor cociente (0,22) en el primer centímetro de sedimento en la estación más cercana a la costa en comparación a otras estaciones (Figura 12). Los resultados obtenidos son comparables a los registrados para la misma zona de estudio durante fines de verano del año 2009 (Cardich et al., 2011), en donde se obtuvo el mayor cociente (0,23) en la estación más cercana a la costa para el primer centímetro de sedimento y el menor cociente (0,12) hacia la plataforma exterior. Además, en la plataforma continental frente a Chile central, se registró un mayor cociente (0.05) a 64m de profundidad y un menor cociente (0.03) a 120m de profundidad en noviembre de 1997 (Sellanes, 2002).

7.2.2.3. Carbohidratos.

Las concentraciones totales de CHO en el sedimento exhibieron valores de entre 7,38 - 8,17 mg.g⁻¹ en las estaciones ubicadas en la plataforma interna y media, y de 15,18 - 20,35 mg.g⁻¹ en las estaciones ubicadas en la plataforma externa (Tabla 6). Estos resultados fueron mayores a los reportados para el talud continental (1,4 - 6,36

mg.g⁻¹) frente a Callao (Neira et al. 2001a) y son similares o mayores a los resultados reportados en la plataforma continental frente a Concepción en Chile central (1,7 - 11,58 mg.g⁻¹; Sellanes, 2002). Asimismo tienden a ser superiores a las concentraciones reportadas para el Golfo de Lion en Francia (1,26 - 7,64 mg.g⁻¹) (Medernach, 2000) y mucho mayores a los reportados en otras zonas de estudio como en el Mar Báltico (Mayer-Reil, 1983), golfo de Vizcaya (Khripounoff et al. ,1985) y el Mar Mediterráneo (Fichez, 1991a; Danovaro et al., 1993; Danovaro et al., 1994; Fabiano et al., 1995) (Tabla 23).

7.2.2.4. Lípidos.

La concentración total de LIP en el sedimento exhibió una marcada distribución espacial. En la plataforma interna se registraron valores de entre 29,17 – 35,43 mg.g⁻¹ y en la plataforma intermedia y externa, entre 78,00 y 135,76 mg.g⁻¹. Los registros obtenidos fueron mayores a los reportados para el talud continental frente a Perú con valores de 4,71 - 24,75 mg.g⁻¹ (Neira et al., 2001a). También fueron superiores a los reportados para la plataforma continental frente a Chile central con valores de 2,4 - 22,0 mg.g⁻¹ (Sellanes, 2002), así como a los reportados en el Golfo de Lion en Francia para zonas someras con 0,41 - 21,14 mg.g⁻¹ (Medernach, 2000) (Tabla 21).

7.2.2.5. Proteínas

Las concentraciones totales de PRT en el sedimento en la plataforma continental interior alcanzaron el rango de 6,19 – 8,73 mg.g⁻¹, mientras que en la plataforma media y exterior alcanzaron el rango de 10,98 a 11,43 mg.g⁻¹. Cabe resaltar que no se observó un gradiente de distribución espacial marcado para este indicador biogeoquímico, como lo fue en el caso de LIP y PRT, en donde las mayores concentraciones se registraron hacia la plataforma exterior (Tabla 6). Los resultados del presente estudio tienden a ser inferiores a los valores reportados en el talud continental frente a Callao (7,20 - 38,90mg.g⁻¹) (Neira et al. 2001a) y son comparables a los reportados para la plataforma continental frente a Chile central (4,69 – 15,28 mg.g⁻¹) (Sellanes, 2002). Asimismo, los valores fueron comparables a los registrados para el Mar Báltico (3,8 – 7,7 mg.g⁻¹; Meyer-Reil, 1983) y mucho más altos a los valores registrados para otras zonas de estudio (Tabla 23).

7.3. Factores que controlan la sedimentación y degradación de los indicadores de calidad de materia orgánica.

7.3.1. Razón Cl-a: feopigmentos

Los resultados obtenidos durante este estudio demuestran que el fitodetritus más joven queda retenido en los sedimentos de la plataforma interna debido principalmente a una alta tasa de sedimentación de materia orgánica fresca que atraviesa una columna de agua pequeña, lo que le da mayor posibilidad de escapar a los procesos de degradación en columna de agua. En la plataforma externa, el fitodetritus tiene mayor tiempo de degradarse en una columna de agua más grande por lo que llega más degradado y con mayor contenido refractario al sedimento (Gutiérrez et al, 2008; Cardich et al., 2011).

7.3.2. Carbohidratos.

La buena correlación entre las concentraciones totales de CHO, la Cl-a y biomasa de la Meiofauna metazoaria (Tabla 16 y 17) sugiere una rápida asimilación bentónica en biomasa y que la presencia de CHO en sedimentos tiene un origen principalmente fitoplanctónico (Odum et al. 1979; Fabiano y Danovaro, 1998). Además, teniendo en cuenta que la tasa de

sedimentación de la materia orgánica es mayor en la plataforma interior debido a la batimetría y condiciones altamente productivas (Chávez y Messié, 2009), era esperable encontrar mayores registros de CHO totales hacia las zonas más cercanas a la costa, pero la distribución de CHO totales obtenidas en este estudio fueron menores en las estaciones someras. Esta distribución obedecería a una influencia de la oxigenación potenciada por del evento El Niño 2009-2010.

7.3.3. Lípidos.

Los altos valores y la distribución espacial de las concentraciones totales de LIP en el sedimento obedecerían a la alta producción primaria en el sistema (Sánchez et al., 1988; Pennington et al., 2006; Messié et al., 2009). La tasa de producción del fitoplancton es muy rápida y el aporte de este como fitodetritus sedimentado, es solo cuestión de horas (Sánchez et al., 1988). Durante eventos ENSO-positivos que oxigenan el sistema, al llegar el fitoplancton como fitodetritus, sería degradado con mayor rapidez en zonas someras donde el reciclaje y dinámica de MO es más alto (Neira et al., 2001b; Arntz et al., 2006). Teniendo en cuenta las condiciones de este estudio: mayor oxigenación en zonas someras, mayores tasas de sedimentación, mayor nivel de preservación de zonas profundas y las típicas condiciones anoxicas del sistema, las concentraciones de LIP pueden

completar su degradación dentro de los primeros 3-4 meses de sedimentación (Harvey et al. 1995). Esto explicaría las altas concentraciones de LIP a lo largo de la plataforma continental frente a Perú, a pesar de la ocurrencia de un evento El Niño.

7.3.4. Proteínas.

La distribución espacial esperada de las concentraciones totales de PRT obedecería a un alto depósito de MO producto de una alta productividad en el sistema (Lallier-Vergès et al., 1993; Chávez y Messié, 2009) y a una elevada tasa de descomposición en la plataforma interior potenciada por el pulso de oxigenación remanente del evento El Niño 2009-2010. Sin embargo, la distribución espacial de este indicador biogeoquímico no presenta diferencias espaciales significativas a lo largo de la plataforma, a pesar de que las menores concentraciones de PRT totales se encuentran ligeramente hacia la plataforma interior. Algunos estudios indican que el alto contenido de PRT totales en el sedimentos está asociado a la presencia de células grandes de fitoplancton (Nelson et al. 1989), sin embargo, otras investigaciones han reportado altos contenidos de PRT totales asociadas a materia orgánica fresca en forma de comprimidos fecales y restos de organismos pelágicos y demersales, los cuales presentan una velocidad de sedimentación muy alta, pudiendo llegar a depositarse a 400-

800m de profundidad sin sufrir degradación total (Danovaro et al., 2000; Lalli y Parsons, 2006) lo que explicaría la distribución homogénea de este indicador biogeoquímico en la plataforma continental. Estas partículas que sedimentan son rápidamente colonizadas por bacterias, las cuales responden a cambios en el flujo de PRT totales tanto en columna de agua como en el sedimento, lo que gatilla la formación de una importante biomasa de microorganismos y una rápida degradación de los contenidos de PRT lábil (Odum et al. 1979; Lalli y Parsons, 2006), y que estas PRT son utilizadas en gran medida por las bacterias, lo cual explicaría las densidades y biomasas bacterianas homogéneas a lo largo de la plataforma continental para el mismo periodo que este estudio (Cueva com. pers, datos no publicados).

Por otro lado, se estima que el tiempo de movilización diagenética de las concentraciones totales de PRT varía entre 2 – 17 horas a diferencia del tiempo de movilización de las concentraciones de CHO que pueden ir de 16 – 20 horas (Fabiano y Danovaro, 1998). Además, se ha comprobado que esta movilización y degradación se acelera en presencia de altos contenidos de oxígeno (Degens et al., 1964, Fabiano y Pasceddu, 1998), lo que dentro del contexto del presente trabajo, podría explicar los altos contenidos potencialmente biodisponibles de CHO y PRT en las estaciones someras, en donde la dinámica de removilización de estas biomoléculas sería mayor y en donde la materia orgánica que sedimentaría sería más fresca y lábil.

Diversos factores podrían explicar la distribución de los indicadores de calidad de la MO: 1. Distintos niveles de OD de fondo (mayores niveles en la plataforma interna y su efecto negativo sobre la preservación de la materia orgánica en el sedimento) (Berner, 1980); 2. Factores hidrogeomorfológicos para distintas zonas de la plataforma (plataforma interna más protegida y plataforma externa más expuesta a las corrientes oceánicas (Longhurst, 2007); 3. Factores relacionados a los procesos de sedimentación y degradación de la materia orgánica (Mann y Lazier, 1991). Además se debe tener en cuenta que los sitios en la plataforma externa presentan una fauna bioperturbadora y remineralizadora más empobrecida en comparación a los sitios más someros, lo que podría influenciar en parte las concentraciones biogeoquímicas de algunos indicadores, sobre todo debido a la actividad bacteriana (Gutiérrez et al., 2008; Neira et al., 2001b).

A pesar de que la concentración total de Cl-a, CHO y LIP, tienden a incrementarse hacia la plataforma externa, las concentraciones de MO lábil fueron en promedio más altas en las estaciones más cercanas a la costa tanto para Cl-a, CHO, LIP y PRT. Estas concentraciones de materia orgánica lábil están mediadas principalmente por procesos de sedimentación continua de material fresco, el cual no alcanza a degradarse en la columna de agua. Se conoce que la fracción lábil de la materia orgánica sedimentaria está

representada por azúcares simples, ácidos grasos y proteínas que son rápidamente remineralizadas (Fichez, 1991a; Danovaro et al., 1993). A diferencia de la fracción refractaria que consisten en sustancias húmicas y ácidos fulvicos derivados de las biomoléculas desnaturalizadas, los cuales poseen un rango de degradación y asimilación mucho más bajo (Buscail et al., 1990; Biddanda y Riemann, 1991).

La variación vertical de las concentraciones totales de feopigmentos, Cl-a, CHO, LIP y PRT en el sedimento está controlada por procesos de degradación y diagénesis (Berner, 1980; Gutiérrez, 2000; Sellanes, 2002). Así, la mayor concentración de materia orgánica es remineralizada en la capa superficial y en los primeros estratos subsuperficiales. A mayor profundidad aumenta la fracción de materia orgánica refractaria (Sarmiento y Gruber, 2006; Libes, 2009). Entonces es de esperar mayor contenido de MO lábil hacia estratos superficiales y este contenido va disminuyendo conforme aumenta la profundidad en la columna de sedimento (Sun et al., 1993, Sellanes, 2002, Gutiérrez, 2000). Aunque no se observaron decrecimientos exponenciales en la concentración de los indicadores bioquímicos en la columna de sedimento, sus distribuciones verticales en la columna reflejan la influencia de las condiciones anóxicas del sistema propiciando una mejor preservación y una baja tasa global de descomposición.

7.4. Estructura comunitaria y distribución de la meiofauna metazoaria.

7.4.1. Variación Espacial.

7.4.1.1. Abundancia.

La densidad de la Meiofauna metazoaria registrada en este estudio fue comparable a la de otras áreas de surgencias con características similares a las predominantes frente a Callao (Tabla 24), sobre todo por las altas densidades (mayores a 10^3 Ind.10cm⁻²) observadas en la estación más somera perteneciente a la plataforma continental interior (Figura 16). Estos registros son comparables con otros ambientes marinos sublitorales de Pacífico en donde predominan sedimentos areno-fangosos y condiciones anóxicas (Neira et al., 2001b; Sellanes et al., 2002). También son comparables con áreas sublitorales deficientes de oxígeno de Europa (Suecia) donde se reportaron densidades muy bajas (25-150 Ind.10cm⁻²) (Nyholm y Olson, 1973) (Tabla 24). Las estaciones ubicadas en la plataforma intermedia y externa fueron en donde se registraron las menores abundancias. En la plataforma intermedia (Estación E3) fue donde se presentó la menor abundancia ($> 10^3$ Ind.10cm⁻²) aproximándose al promedio

registrado para ambientes fangosos sublitorales y áreas de surgencias (Tabla 24).

En las zonas de la plataforma intermedia y externa prevalecieron las condiciones deficientes de oxígeno durante el periodo de muestreo, por lo tanto era de esperar encontrar densidades menores que en las zonas someras, las cuales estuvieron sometidas a una dinámica distinta y constantes flujos material orgánico fresco y concentraciones de OD mas altos (Gutiérrez et al., 2008).

7.4.1.2. Biomasa.

Las biomاسas totales fueron comparables a las registradas por Rowe (1985) para áreas de surgencias frente a África y Perú central. También a los valores registrados por Sellanes (2002) para Chile central, entre otros trabajos realizados en áreas con características oceanográficas similares (Tabla 25). El patrón de distribución espacial de la biomasa fue similar al de la abundancia. La biomasa total de la estación más somera fue la que presentó mayores valores.

Por el contrario, en sitios ubicados en la plataforma intermedia y externa se registraron valores similares en las biomاسas totales, con un ligero incremento hacia las estaciones en la plataforma externa. Tal incremento obedecería al tamaño de individuos registrados (generalmente nemátodos), el cual fue relativamente mayor que en la

plataforma interior (Le Guellec y Bodin, 1992; Sellanes, 2002).

7.4.1.3. Diversidad.

La comunidad del Meiobentos posee una baja riqueza a nivel de grandes grupos, así, los nemátodos dominan el sistema tanto en abundancia como en biomasa, conformando ~ 90% del total (Tabla 7). Los nemátodos son organismos muy bien adaptados a sedimentos orgánicamente ricos y deficientes de oxígeno (Cook et al., 2000; Neira et. al., 2001b; Sellanes, 2002) pero grupos como Crustáceos, Copépodos y Bivalvos son muy sensibles a variaciones en el contenido de OD de fondo, quedando excluidos ante eventos de intensificación de la ZMO (Sellanes, 2002; Giere, 2009). Los resultados obtenidos en este estudio son concluyentes, pues la diversidad a grandes grupos taxonómicos fue la más alta en la estación más somera y más oxigenada.

7.4.2. Variación Vertical.

La distribución vertical de la abundancia total de la meiofauna en el primer centímetro varió de 54,1% en la estación E5 a 31,5% en la estación E3 (Figura 17). Asimismo, a mayor profundidad de las estaciones, la penetración de la fauna es menor a partir del segundo centímetro en la columna de sedimento (Tabla 7).

La distribución vertical de los nematodos (Tabla 7) obedece a los mecanismos de adaptación que presentan estos organismos a todo tipo de sedimento, bajo condiciones oxidadas o reductoras (Giere, 2009). Es importante mencionar que gracias a sus movimientos dorso ventrales producidos por la musculatura longitudinal que poseen, se desplazan con relativa rapidez, hasta 15cm/min en sedimentos floculentos (Cullen, 1973; Riemann, 1995). Otra explicación vendría dada a partir de que los Nematodos prefieren fitodetritus y bacterias como alimento principal (Pascal et al. 2008). Esto explicaría el porqué de las grandes abundancias de Nematodos registradas en sitios someros las cuales además de tener gran contenido de MO lábil, presentan biomasas bacterianas altas (Gutiérrez et al., 2008). Además, según Musat, et al. (2007) algunos Nematodos pueden vivir en simbiosis con bacterias sulfuro reductoras, que les permitirían resistir las condiciones anóxicas propiciando que la penetración en la columna de sedimento sea más eficiente.

Los Nemertinos lograron penetrar la columna de sedimento hasta el tercer centímetro, aunque esta penetración fue mayor en la estación más somera, posiblemente debido a la disponibilidad de alimento y oxígeno (Tabla 8). Aunque se sabe que los nemertinos son resistentes a condiciones reductoras en sedimento y a la anoxia severa, incluso a la poca disponibilidad de alimento, pudiendo soportar periodos de inanición con estrategias de reducción

de tamaño corporal, o alimentación de individuos muertos de la misma especie (Giere, 2009).

Los Gastrotrichios penetraron en la columna de sedimento con porcentajes importantes en las estaciones más profundas, representando el 14% de la fauna en centímetros subsuperficiales en la estación E3 perteneciente a la plataforma intermedia (Tabla 8). Esta distribución podría explicarse debido a que los Gastrotrichios se adhieren fácilmente a los granos de sedimento enriquecidos con detritus, pudiendo llegar a esos niveles de penetración por la acumulación del sedimento, además de que presentan vías metabólicas de adaptación a condiciones reductoras y de anoxia (Boaden, 1974; Todaro et al., 2000).

Los Bivalvos, Cnidarios y Copépodos presentaron una distribución limitada al centímetro superficial de sedimento (Tabla 7), esta distribución obedece a la sensibilidad a bajos niveles de OD de fondo (Giere, 2009), así como por su tamaño y forma corporal, la cual es incapaz de adaptarse eficientemente a los intersticios en el sedimento (Maguire, 1977).

Diversos estudios han obtenido registros de abundancia de Meiofauna para ZMO (Tabla 24) tratando de explicar la distribución vertical de la misma mediante: 1. El estado de oxidación del sedimento; 2. Las densidades bacterianas; 3. Factores físicos como la porosidad y el contenido de agua en sedimento, etc. Sin embargo, en casi todos los ambientes

bentónicos las concentraciones de MO lábil (CHO, LIP, PRT, Cl-a), las densidades bacterianas, la porosidad y el contenido de agua decrecen hacia los centímetros subsuperficiales de la columna de sedimento, mientras que las condiciones reductoras se intensifican.

Sedimentos orgánicamente enriquecidos albergan una abundante microfauna la que conforma una gruesa capa floculenta sobre el sedimento, principalmente en las estaciones más cercanas a la costa. (Jorgensen, 1977, Giere, 2009; Gutiérrez et al., 2009). La ocurrencia de esta condición facilitaría una fuente de alimento para los Nematodos los cuales conforman hasta ~90% de la Meiofauna metazoaria. Sobre este contexto, se podría sugerir un control del material orgánico lábil potencializado por el contenido bacteriano en sedimento que facilitaría la degradación y remineralización de la MO en el bentos.

7.5. Producción Secundaria del meiobentos metazoario y requerimientos metabólicos.

Los valores de producción secundaria registrados en la plataforma interior, intermedia y externa ($1,59 - 7,56 \text{ gC.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$) (Tabla 14) son comparables a los citados por Rowe (1985) para las zonas de surgencias de África y Perú ($4 - 5,8 \text{ gC.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$) y a los citados por Sellanes (2002) para la plataforma intermedia y externa frente a Concepción en Chile ($1,53 - 4,77 \text{ gC.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$). Se registró el mayor valor en producción secundaria en la estación E1. Se ha hablado de que las comunidades expuestas a periodos de anoxia tienen una productividad secundaria baja (Rainer y Fitzhardinge, 1981), ya que en estos hábitats altamente estresados el grado de productividad está directamente relacionado con la velocidad de reclutamiento y crecimiento de la fauna (Díaz y Rosengber, 1995). Pero es importante mencionar que la comunidad de la meiofauna metazoaria presenta una organización simple, conformada por organismos de estrategia "r", la cual puede recuperarse luego de eventos catastróficos, anoxia severa y puede aprovechar de manera más eficiente la energía producida (Pearson y Rosengberg, 1978; Díaz y Rosengberg, 1995).

En la ZMO, donde se combinan condiciones de anoxia y altos aportes de materia orgánica, la fauna intersticial presenta altas tasas de recambio, maximizando su tasa de crecimiento y reproducción, limitando la pérdida de energía en condiciones de anoxia (Díaz y Rosengberg, 1995). Los altos valores de abundancia y biomasa obtenidos en la estación más somera influyen directamente con la tasa de producción secundaria registrada, las cuales son significativamente más altas que en las estaciones de la plataforma intermedia y externa. Esto podría obedecer a las altas concentraciones de material orgánico lábil aportados continuamente a través de la columna de agua hacia los sedimentos registrados en el presente estudio.

Un valor aproximado de cantidad de carbono orgánico que la meiofauna metazoaria estaría reciclando (producción + respiración) se encuentra entre los valores de 4,93 - 23,70 $\text{gC.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$ (Tabla 11). El valor más alto se registró en la plataforma interna; este valor es comparable a lo reportado por Sellanes (2002) para sedimentos orgánicamente enriquecidos (12,6 - 42,7 $\text{gC.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$). Considerando que el flujo de carbono orgánico reciente en los sedimentos de la plataforma del Callao son del orden de $49.1 \pm 1.2 \text{ gC.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$ (Gutiérrez et al., 2008), los resultados sugieren que al menos un 10% del flujo sería reciclado por la producción y respiración del meiobentos metazoario.

Las tasas de recambio (P/B) obtenidas a partir de los valores de productividad secundaria y biomasa estuvieron entre 6,99 - 12,17 a⁻¹, obtenidos mediante el modelo biomatemático de Tumbiolo y Downing (1994). Los valores se encontraron en el rango medio superior en comparación a lo reportado por Sellanes (2002) para la plataforma continental en Chile (10,2 - 13,1 a⁻¹). Cabe mencionar que para los organismos del meiobentos, el cociente P/B varía en forma proporcional al tamaño (Vraken y Heip, 1986) obteniéndose un mayor cociente en organismos más pequeños y de desarrollo más rápido. Estas razones van desde 7,7 - 14,8 a⁻¹ para los Nematodos reportados en este estudio y entre 8,34 - 14,76 a⁻¹ para especies relativamente más pequeñas como los Gastrotrichios, lo cual es concordante con los rangos de tamaño reportados en este estudio, que son pequeños en las estaciones someras y grandes en las estaciones profundas.

7.6. Comparación de la meiofauna metazoaria con otros componentes del bentos.

7.6.1. Relación con la macrofauna

La mayor abundancia, biomasa y diversidad de la macrofauna se restringió a las estaciones más someras pertenecientes a la plataforma continental interior (Tabla 9).

El poliqueto *P. pinnata* fue la especie dominante de la macrofauna, registrándose su presencia en todas las estaciones de muestreo; su densidad disminuyó a mayor profundidad de la columna de agua y a menores niveles de OD en el fondo. La diversidad presentó una distribución que obedeció al gradiente de OD, puesto que es conocido el efecto letal de la anoxia sobre esta comunidad (Gallardo, 1985; Tarazona et. al., 1996; Gutiérrez, 2000).

En comparación a otros registros (Tabla 25), la biomasa de la macrofauna en este estudio fué inferior a la de otras áreas influenciadas por la ZMO (Rosengber et al. 1983; Arntz et al. 1991; Gallardo et al., 1995). Dadas condiciones de anoxia o disoxia severa, el flujo de energía de la meiofauna puede llegar a ser igual o mayor al de la macrofauna (Sellanes, 2002). Debido a la relación superficie: volumen, los requerimientos metabólicos de la meiofauna metazoaria son en promedio mayores a los de la macrofauna, lo que sugiere un importante rol de la producción secundaria de la meiofauna metazoaria en sistemas en donde el cociente entre biomasa de la macrofauna y meiofauna es baja (Gerlach, 1971; Higgins y Thiel, 1998). Frente a Callao, la biomasa de la macrofauna fue hasta 3 veces superior a la de la Meiofauna metazoaria sobre todo en la estación E2 y E3. En cambio, la gran abundancia de la meiofauna metazoaria en la estación más somera permitió alcanzar rangos muy similares a los de la biomasa de la macrofauna (Figura 21).

En la Tabla 25, se comparan las biomásas de ambas comunidades y se determina el cociente entre ellas ($R_b = B_{\text{macrofauna}} : B_{\text{meiofauna}}$) comparándolas con zonas de características similares. Los valores obtenidos se encontraron entre 4,6 (E2) y 0,2 (E5). Según Rowe (1985) y Gerlach (1971), si los valores R_b fueran menores o iguales a 3, se alcanzaría el punto en el que la producción secundaria de la meiofauna metazoaria y la macrofauna serían equivalentes. Este rol sería compartido con la macrofauna solo en ambientes en donde las abundancias de la meiofauna metazoaria no sean dominantes y las condiciones para la colonización de la macrofauna sean las adecuadas (altos niveles de OD, materia orgánica lábil disponible) como en las estaciones más cercanas a la costa.

Es interesante mencionar los efectos que podría tener la macrofauna sobre la meiofauna metazoaria en el sistema. La predación (factor no medido en el presente estudio) podría tener un rol potencial en la estructuración de la comunidad, pues la meiofauna es presa de niveles tróficos superiores (Coull, 1999). Sellanes (2002) planteó que en la plataforma continental frente a Chile central, la tasa de remoción de la meiofauna metazoaria por parte del predador no tiene un efecto crítico sobre las abundancias debido a que esta remoción es relativamente pequeña en comparación a las altas tasas de recambio que presenta esta comunidad. Por otro lado, teniendo en cuenta las potenciales influencias positivas, las altas abundancias de nemátodos en la

plataforma interior podrían estar relacionadas a los efectos bioperturbadores de la macrofauna sobre el sedimentos, permitiendo la formación de estructuras biogénicas que facilitarían la colonización de la meiofauna metazoaria en la columna de sedimento (Warwick et al., 1986; Sundelin y Elmgren, 1991). Sin embargo, esta interacción es poco probable dadas las bajas densidades de macrofauna registradas en este estudio.

7.6.2. Relación con foraminíferos bentónicos.

Las densidades totales de foraminíferos bentónicos obtenidas en este estudio a lo largo del perfil batimétrico de las cinco estaciones trabajadas estuvieron entre 949 -3581 Ind.10cm⁻² (Tabla 10). Estos registros fueron comparables a los estimados por Phleger y Soutar (1973) registraron valores de ~ 600 Ind.10cm⁻² en la plataforma continental frente a Callao (180m de profundidad). Además, Cardich et al. (2011) registraron para la plataforma continental frente a Perú ~800 Ind.10cm⁻² en la estación más cercana a la costa (48m) y ~700 Ind.10cm⁻² en la estación perteneciente a la plataforma exterior (178m). Levin et al. (2002) registraron mayores densidades en sedimentos batiales (~ 5800 Ind.10cm⁻²) en Chile Central (300m de profundidad) influenciados por una ZMO permanente. Además este estudio también fue comparable a los registros obtenidos por Schumacher et al. (2007) en el Mar de Arabia (600 - 1000 Ind.10cm⁻²).

La comunidad de foraminíferos bentónicos en la plataforma continental frente a Callao presentó grandes abundancias en las estaciones más someras pertenecientes a la plataforma continental interior e intermedia (Figura 23). Las fluctuaciones de OD de fondo y la MO lábil estarían estructurando la distribución de la comunidad (Jorissen et al. 1995). Esto, teniendo en cuenta que más del 90% de la abundancia total se concentró en el primer centímetro de la columna de sedimento en todas las estaciones de muestreo y estuvo dominada por el grupo de foraminíferos calcáreos (Figura 23).

Las especies dominantes en las estaciones someras en la plataforma continental interior fueron *B. costata* y *N. auris* (Tabla 11). Las especies dominantes en las zonas más profundas correspondientes a la plataforma intermedia y externa fueron *B. seminuda* y *B. tenuata* (Tabla 10). Según Cardich et al. (2011) esta distribución indicaría que estas especies son dominantes bajo una severa deficiencia de oxígeno y condiciones de óxido-reducción moderadas, en comparación a las de la plataforma interior, donde prevalecen condiciones anóxicas.

La diversidad de especies registradas disminuyó conforme aumentaba el perfil batimétrico en las estaciones (Figura 24). Las condiciones anóxicas y condiciones típicas de ambientes con altos contenidos de materia orgánica lábil en descomposición podrían estar jugando un papel

importante que explicaría la distribución espacial y vertical en la columna de sedimento de la diversidad de foraminíferos (Leiter y Altenbach, 2010).

La distribución vertical de la abundancia total de los foraminíferos (Tabla 10), estuvo marcada hacia el centímetro superficial de la columna de sedimento en donde la cantidad de materia orgánica lábil y OD fue mayor. A pesar de ello, algunas especies parecen tener algún tipo de adaptación al ser encontrados en centímetros subsuperficiales del sedimento para aprovechar al máximo la disponibilidad de alimento y evitar la competencia (Murray et al. 2001). En el estudio N. auris estuvo presente con altos porcentajes de abundancia en centímetros subsuperficiales en la estación E1, en tanto que B. seminuda estuvo presente en los centímetros subsuperficiales en las estaciones correspondientes a plataforma interna e intermedia. Estas distribuciones podrían explicarse debido a que las estaciones someras presentan gran porosidad y una capa floculenta más gruesa, lo que permitiría una irrigación de nutrientes más eficiente hacia los centímetros subsuperficiales.

También algunas especies presentan reservas de nitrato como adaptaciones metabólicas en condiciones anaeróbicas (Risgaard-Petersen, 2006; Cardich et al., 2011). Con respecto a los foraminíferos Aglutinados (Allogromidae) presentes en todas las estaciones y en los niveles subsuperficiales del sedimento, Bernhard et al. (2008) mencionan que pueden

realizar simbiosis con bacterias sulfuro- reductoras, lo cual permitiría la colonización exitosa en la capa subsuperficial. En general, la distribución vertical de los foraminíferos está en función a las gradientes de oxigenación y disponibilidad de alimento en la columna de sedimento (Jorissen et al., 1995).

A lo largo del perfil batimétrico en la ZMO frente a Callao las densidades de foraminíferos fueron hasta cuatro veces mayores que las registradas para la Meiofauna metazoaria. El grupo de foraminíferos calcáreos y los Nematodos representaron las abundancias de sus respectivas comunidades y parecen responder a las bajas concentraciones de OD y las concentraciones de materia orgánica lábil. Ellos estarían jugando un rol importante en el flujo de energía y reciclaje de carbono orgánico en el sistema bentónico (Levin et al., 2002, Bernhard et al., 2008) para lo cual una comparación en términos de productividad secundaria de la meiofauna metazoaria en estudios posteriores ayudaría a descubrir nuevas interacciones ecológicas en el sistema.

7.7. Influencia de las condiciones biogeoquímicas sobre la comunidad del meiobentos.

Las variables fisicoquímicas que mejor explicaron la estructura comunitaria de la meiofauna metazoaria en términos de diversidad, fueron el OD de fondo y la temperatura (Tabla 16). La biomasa de la meiofauna exhibió correlaciones positivas y significativas con la fracción lábil de CHO y PRT (Tabla 18). Se sabe que las PRT son utilizadas preferentemente antes que los CHO (Newell y Field, 1983). Estas PRT son degradadas rápidamente tanto por procesos biogeoquímicos (Jumars y Wheatcroft, 1989), utilización bacteriana (Danovaro et al. 1993) y consumo por la fauna bentónica (Tenore, 1988). Así, las PRT tendrían un rol muy importante en el subsistema, convirtiéndose en una potencial biomolécula limitante para la meiofauna metazoaria.

Los resultados de este estudio sugieren que la distribución de la meiofauna en términos de biomasa, estaría respondiendo a las propiedades lábiles de la materia orgánica. La estructura espacial de la comunidad obedecería a los pulsos de MO fresca que a su vez gatillarían una proliferación bacteriana y una mayor disponibilidad de alimento en superficie.

Por otro lado, el control de la estructura comunitaria meiobentónica por parte del OD ha sido propuesta en zonas de surgencias frente a Perú (Neira et al. 2001b), México (Levin et al., 1991) y el Mar de Arabia (Goody et al., 2000). Según estos estudios, este control operaría en forma negativa para los nematodos ya que al ser tolerantes a las condiciones de anoxia, proliferan en sedimentos orgánicamente ricos (Cook et al., 2000). Pero los otros grupos que componen la comunidad de la meiofauna metazoaria son potenciales competidores tanto de alimento como de espacio. Sin embargo, organismos como crustáceos, bivalvos, copépodos y cnidarios son capaces de mantenerse solo algunas pocas horas bajo condiciones de anoxia (Jorgensen, 1980).

La señal remanente del El evento El Niño 2009-2010 anterior al periodo de este estudio, potenció un aumento sobre las condiciones de oxigenación de fondo que repercutió directamente sobre las características biogeoquímicas de los sedimentos de la plataforma. Este pulso llevó a una persistencia de las tasas de descomposición y remineralización en las estaciones más cercanas a la costa, traduciéndose en una inversión del gradiente espacial de los distintos indicadores biogeoquímicos de deposición de material orgánico. A pesar de las bajas concentraciones totales de materia orgánica en las estaciones cercanas a la costa, la fracción no degradada y/o la biodisponibilidad

potencial tendieron a ser mayores que hacia la plataforma exterior, en donde se registraron las mayores concentraciones totales. Estas condiciones en el sistema facilitaron en gran medida la ocurrencia de una alta biomasa y diversidad del meiobentos metazoario.

Cabe mencionar que este estudio no asevera que una combinación de parámetros ambientales no medidos en el estudio sean causantes directos de los patrones de distribución espacial y vertical de la fauna intersticial (macrofauna, meiofauna protozoaria y metazoaria), pero brinda un acercamiento de la importancia de la materia orgánica lábil en la estructuración de la comunidad bentónica.

Tabla 23. Comparación de las concentraciones de carbohidratos, lípidos y proteínas en sedimentos marinos registradas en estudios anteriores Modificado de Sellanes (2002).

Area	Prof (m)	LIP mg.gr-1	PRT mg.gr-1	CHO mg.gr-1	Autor
Bahía Buzzards, Massachussets	15	nd	19,9-27,9	10,3-11,1	Johnson (1977)
Mar de Noruega	15	nd	0,37-5,81	0,08-0,60	Daumas et al. (1978)
Mar Baltico	18	nd	3,8-7,7	0,4-4,0	Meyer-Reil (1983)
Mactan, Philipinas	18	nd	0,5-1,3	0,7-1,6	Graf y Meyer-Reil (1985)
Golgo de Gascogne, O. Atlantico	2100	0,22	1,85	2,44	Khripounoff et al. (1985)
Oeste del Mar Mediterraneo	10-20	0,01-0,66	0,5-2,6	0,9-4,2	Fichez (1991a)
Mar de Liguria	10	0,06-0,23	0,02-0,04	0,18-0,58	Danovaro (1993)
Este del Mar Mediterraneo (Mar Ioniano)	100-2400	0,05-0,19	0,07-0,16	1,2-2,4	Danovaro et al. (1993)
Mar de Liguria	4	0,08-1,07	0,05-1,62	0,28-3,59	Danovaro et al. (1994)
Golfo de Marconi	0-50	nd	0,03-0,013	0,25-1,89	Fabiano et al. (1994)
Mar Tyrrheniano	20-60	0,003-0,02	0,3-1,7	0,3-1,9	Fabiano y Danovaro (1994)
Mar Mediterraneo	100	0,3-4,5	2,2-12,1	0,8-70,5	Pusceddu (1999)
Golfo de Marconi	5-125	0,086-0,878	nd	0,7-6,61	Albertelli et al. (1999)
Golfo de Lion	18	0,41-21,14	1,16-36,33	11,52-77,75	Medernach (2000)
Golfo de Lion	27-915	0,08-0,55	0,33-3,03	0,82-8,02	Medernach (2000)
Golfo de Lion	50-2000	0,097-0,382	0,79-3,09	1,26-7,64	Medernach (2000)
Bahía de Concepción	27	7,2	5,75	5,8	Neira (2001)
Plataforma Continental, Chile Central	34-120	3,16	6,34	3,23	Neira (2001)
Concepción, Chile	27-120	2,4-22,0	4,69-15,28	1,7-11,58	Sellanes (2002)
Plataforma Continental, Perú Central	48-178	29,17-135,73	6,19-11,43	7,38-20,35	Este estudio (2010)

nd= no determinado

Tabla 24. Comparación de la abundancia de la nematofauna y Meiofauna metazoaria en estudios anteriores. Modificado de Sellanes, (2002).

Area	Prof (m)	Características	Nematodos Ind.10cm ⁻²	Meiofauna total Ind.10cm ⁻²	Autor
Plataforma de Perú (15°S)	63-110	borde superior de la ZMO	-	609-1134	Rowe (1975)
Noroeste de Africa	25	surgencia costera	-	1000	Rowe (1975)
Fiordo de Gullmar, Suecia	115	Anoxia estacional	321-5415	326-5688	Josefson y widbom (1988)
Bahía de San Brieuc, Francia	3-11	orgánicamente enriquecida	542-2086	745-2207	Le Guellec y Bodin (1992)
Bahía de Fundy, Canadá	12-14	bajo cultivo de salmones	2030	2307	Duplisca y Hargrave (1996)
Plataforma de Lousiana, USA	28-106	hipoxia estacional moderada	556-5859	1173-6960	Radziejewska et al. (1996)
Mar de Arabia	400	surgencia estacional	1700	-	Cook et al. (2000)
Mar Tirreno, Italia	10	bajo cultivo de salmones	652-1678	870-2238	Mirto et al. (2000)
Talud Perú (12°S)	305	Centro de la ZMO	1502	1517	Neira et al. (2001b)
Bahía de Concepción, Chile	27-34	hipoxia estacional moderada	1463-10360	1473-10796	Sellanes et al. (2002)
Plataforma continental, Concepción, Chile	64-120	borde superior de la ZMO	738-5896	895-5989	Sellanes et al. (2002)
Plataforma continental (12°S), Perú	48-148	borde superior de la ZMO	356-1310	446-1384	Este estudio (2010)

nd= no determinado

Tabla 25. Comparación entre las biomásas de la macrofauna y la meiofauna metazoaria en estudios anteriores. R_b es la razón entre la biomasa de la macrofauna y la de la meiofauna. Valores expresados en mgC.m⁻². Modificados de Le Guellec y Bodin (1992), Sellanes (2002).

Area	Prof (m)	Biomasa (gC.m ⁻²)		R _b	Autor
		Macrofauna	Meiofauna		
Helgoland Bight, Mar del Norte	16-49	0,9-6,1	0,03-0,28	24-90	Stripp (1969)
Banyuls, Mar Mediterraneo	14-87	0,95	0,07-0,35	6,8	Guille y Soyer (1971)
Mar Baltico	9-50	3,9	0,7	5,6	Ankar y Elmgren (1976)
Gota river, Mar del Norte	3-50	0,35-7,7	0,21-0,56	2,8-19,2	Nyholm et al. (1977)
Helgoland Bight, Mar del Norte	35	3,7	0,42	8,8	Gerlach (1978)
Bahía de Bothnian, Mar Baltico	5-220	0,07	0,21	0,3	Elmgren (1980)
Mar de Bothnian, Mar Baltico	5-100	5,3	0,77	6,9	Elmgren (1980)
Mar del Norte	nd	0,85-1,10	0,42-1,33	1,1-2,8	Govaere et al. (1980)
Fiordo de Gullmar, Suecia	12-120	1,5	0,28	5,4	Evans (1983)
Bahía de Douarnenez, Francia	0-35	1,7-6,4	0,63-1,82	1,4-5,6	Bodin et al. (1985)
Bahía de Morlaix, Canal de la Mancha	nd	2,3	0,28	8,2	Dauvin (1985)
Margen de Perú Central	3-110	6,9	2,66	2,6	Rowe (1985)
Fladen Ground, Mar del Norte	150	1,55	0,17	9,1	De Wilde et al. (1986)
N. Zelandia, O. Pacifico	200	3,05	0,42	7,3	Probert (1986)
San Brieuc, Canal de la Mancha	2-13	4,65	0,35-0,77	8,5-19	Le Guellec y Bodin (1992)
Goban Spur, Atlantico Norte	208	0,68	0,12	5,7	Flach et al. (1999)
Bahía de Concepción, Chile	27-34	0,95-27,15	0,28-2,24	4,3-36,7	Sellanes et al. (2002)
Plataforma Continental, Concepción, Chile	64-120	2,1-19,4	0,14-1,05	7,6-48,8	Sellanes et al. (2002)
Plataforma continental (12°S), Perú	48-148	0,05-0,93	0,16-0,59	0,2-4,6	Este estudio (2010)

nd= no determinado

8. Conclusiones.

Se determinó que la fracción lábil de los carbohidratos y proteínas en los sedimentos influye positivamente sobre la biomasa, producción y respiración del meiobentos metazoario dentro del subsistema bentónico.

Además, a partir de los objetivos secundarios, se llegaron a las siguientes conclusiones:

- La fracción lábil de materia orgánica sedimentaria, especialmente de CHO y PRT, presenta mayores concentraciones en la plataforma continental interior permitiendo que el reciclaje de carbono sea más intenso que en la plataforma intermedia y externa.
- Las bajas concentraciones totales de pigmentos cloroplásticos e indicadores biogeoquímicos de calidad de materia orgánica sedimentaria (CHO, LIP y PRT) en la plataforma continental interior obedecieron a la ventilación que ofrecen las zonas más someras y a la fuerte intrusión de masas de agua oxigenadas producto del evento EN 2009-2010, lo que gatilló una rápida degradación, descomposición y/o utilización por la fauna bentónica.

- Los sedimentos de la plataforma continental frente a Callao, contienen una meiofauna metazoaria poco diversa a nivel de grandes grupos (nematofauna ~95% del total de abundancia) en donde las mayores biomásas y densidades se registraron en la plataforma continental interior, donde la calidad de materia orgánica fue mayor en comparación a la registrada en la plataforma intermedia y externa. Estas comunidades se concentraron principalmente en los primeros centímetros de la columna de sedimento a lo largo de la plataforma continental.
- Considerando las altas tasas de generación del meiobentos metazoario (P/B), esta comunidad juega un rol importante en el flujo de energía a través del subsistema bentónico con una capacidad potencial de utilizar y/o reciclar el carbono orgánico que llega a los sedimentos, pudiendo ser la magnitud de este flujo de carbono hasta el doble del flujo energético de los componentes del macrobentos.
- Las densidades más altas del macrobentos se concentraron en la estación más profunda de la plataforma interna y en la plataforma intermedia, compuestas en su mayoría por el poliqueto *P. pinnata*. En la plataforma interna se presentó una mayor diversidad (anélidos, crustáceos, moluscos y nemertinos).

- Las más altas densidades de foraminíferos se ubicaron en la plataforma interna e intermedia, distribuyéndose (~90%) en el primer centímetro de sedimento. Se determinó dos comunidades principales; la primera, dominada por *N. auris* y *B. costata*, se presentó en la estación más somera de la plataforma interna. La segunda, dominada por *B. seminuda* y *B. tenuata* se presentó en la plataforma intermedia y externa. La estación más profunda de la plataforma interna presentó una comunidad mixta co-dominada por las cuatro especies.
- La mayor diversidad del meiobentos metazoario fue registrada en la estación más somera del estudio, en la plataforma interior, donde se presenta una mayor exposición al oxígeno por procesos de mezcla y transporte. Por ello, la disponibilidad de oxígeno es el factor principal que controla la diversidad de la comunidad.

9. Proyecciones.

El estudio de la meiofauna metazoaria así como el de otros compartimentos del Bentos marino intersticial (macrofauna, meiofauna protozoaria y microfauna) es esencial para desarrollar un mejor entendimiento del subsistema bentónico y de la importancia ecológica de esta comunidad en el sistema Bentónico-pelágico. Además, es necesario empezar a estudiar la comunidad meiobentónica a una mayor resolución para comprender su compleja estructura y función. Si bien la meiofauna obedece rápidamente a cambios ambientales, se espera que la respuesta a nivel de especie sea aún más clara, ofreciéndonos resultados más robustos de comprensión y predicción de procesos biogeoquímicos así como de cambios oceanográficos en el subsistema bentónico.

10. Referencias Bibliográficas.

- Anderson, J.J.; A. Okubo; A.S. Robbins y A. Richards. 1982. A model for nitrite and nitrates distributions in oceanic oxygen minimum zones. *Deep-Sea Research* (29): 1113-1140.
- Andrassy, I. 1956. Die Rauminhalts und Gewichtsbestimmung der Fadenwurmer (Nematoden). *Acta Zool. Acad. Scientiarum Hungaricae*. 2: 1-15.
- Arntz, W.; J. Tarazona; V.A. Gallardo; L.A. Flores y H. Salzwedel. 1991. Benthos communities in oxygen deficient shelf and upper slope areas of the Peruvian and Chilean pacific coast, and changes caused by El Niño. *Geological Society*: 131-154.
- Arntz W., V. A. Gallardo, D. Gutierrez, E. Isla, L. A. Levin, J. Mendo, C. Neira, G. T. Rowe, J. Tarazona, y M.Wolff. 2006. El Niño and similar perturbation effects on the benthos of the Humboldt, California, and Benguelan Current upwelling ecosystems. *Advances in Geosciences*, 6, 243–265. SRef-ID: 1680-7359/adgeo/2006-6-243
- Arntz, W y E. Fahrbach. 1996. El Niño: experimento climático de la naturaleza. Causas físicas y efectos biológicos. Fondo de cultura Economica, Mexico DF.

- Austen MC y S Widdicombe. 2006. Comparison of the response of meio- and macrobenthos to disturbance and organic enrichment. *J Exp Mar Biol Ecol* 330: 96–104
- Banse, K y S. Mosher. 1980. Adult body mass and annual production/biomass relationships of Field populations. *Ecological Monographs* 50: 355-379.
- Barnes H. y J. Blackstock. 1973. Estimation of lipids in marine animals and tissues: detailed investigation of sulphophosphovanillin method for “total” lipids. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 12: 103-118.
- Berner, RA. 1980. Early diagenesis: a theoretical approach. Princeton University Press. 241pp.
- Bernhard, JM.; BK Sen Gupta y JG Baguley. 2008. Benthic foraminifera living in Gulf of Mexico bathyal and abyssal sediments: Community analysis and comparison to metazoan meiofaunal biomass and density. *Deep-Sea Res Pt II* 55:2617–2626
- Berelson WM, Townsend T, Heggie D, Ford P, Longmore A, Skyring G, Kilgore T. y Nicholson G. 1999. Modelling bio-irrigation rates in the sediments of Port Phillip Bay. *Mar Freshwat Res.* 50: 573–579
- Biddanda B. and F. Riemann. 1991. Detrital carbon and nitrogen relations, examined with degrading cellulose. *P.S.Z.N.I. Marine Ecology*, 13(3), 271-283.

- Boaden, PJS. 1974. Three new thiobiotic Gastrotricha. *Cah Biol Mar* 15: 367–378.
- Bradford, MM. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. *Analyt.Biochem.* 72:248-254.
- Brey, T., H Rumohr y S Ankar. 1988. Energy content of macrobenthic invertebrates: general conversion factors from weight to energy. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 117, 271–278.
- Brey T. 2001. Population dynamics in benthic invertebrates. A virtual handbook. Version 01.2. Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Germany.
- Buscail R., R. Pocklington, R. Daumas and L. Guidi. 1990. Fluxes and budget of organic matter in the benthic boundary layer over the northwestern Mediterranean margin. *Continental Shelf Research*, 10, 1089-1122.
- Cardich J, M. Morales, L. Quipúzcoa, A. Sifeddine y D. Gutiérrez. 2011. Community structure of benthic foraminifera from the continental shelf off Central Peru as influenced by labile organic matter and exposure to anoxia. In: Bernhard J, Altenbach A, Seckbach J, editors. *Anoxia: Paleontological*

Strategies and Evidence for Eukaryote Survival -
COLE Book Series. Springer.

- Chavez F. y M. Messié. 2009. A comparison of Eastern Boundary Upwelling Ecosystems. *Progress in Oceanography* 83:80–96
- Codispoti, L.A. y T.T. Packard. 1980. Denitrification rates in the eastern tropical South Pacific. *Journal of Marine Research*. 38: 453-477.
- Colombo, J.C.; N. Silverberg y J.N. Gearing. 1996. Biogeochemistry of organic matter in the Laurentian Trough, II, Bulk Composition of the sediments and relative reactivity of major components during early diagenesis. *Mar. Chem.* 51: 295-314.
- Cook, A.A.; P.J.D. Lamshead; L.E. Hawkins; N. Mitchell y L.A. Levin. 2000. Nematode abundance at the OMZ in the Arabian Sea. *Deep Sea Research II*. 47: 75-85.
- Coull, BC.1999. Role of meiofauna in estuarine soft-bottom habitats. *Aust. J. Ecol.* 24: 327-343.
- Cullen DJ. 1973. Bioturbation of superficial marine sediments by interstitial meiobenthos. *Nature* 242: 323–324
- Danovaro R., M. Fabiano y N. Della Croce. 1993. Labile organic matter and microbial biomass in deep-sea sediments (Easter Mediterranean Sea). *Deep-sea Res.* 40: 953-965.

- Danovaro R., M. Fabiano y M. Boyer. 1994. Seasonal changes of benthic bacteria in a seagrass (*Posidonia oceanica*) bed in relation to the origin composition and fate of the sediment organic matter. *Marine Biology*, 119, 489-500.
- Danovaro R, D. Marrale, A. Dell'Anno, N. Della Croce, A. Tselepides y M. Fabiano. 2000. Bacterial response to seasonal changes in labile organic matter composition on the continental shelf and bathyal sediments of the Cretan Sea. *Progress in Oceanography* 46: 345–366.
- De Lara R., T. Castro, G. Castro, J. Castro y A. Malpica. 2003. La importancia de los nematodos de vida libre. *ContactoS* 48: 43-46.
- Diaz, R.J y R. Rosenberg. 1995. Marine benthic hypoxia a review of its ecological effects and behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 33: 245-303.
- Dillon, WR y M Goldstein. 1984. Multivariate analysis methods and applications. Jhon Wiley and Sons. 587pp.
- Degens, ET; JH Reuter; KNF Shaw. 1964. Biochemical compounds in offshore California sediments and sea Waters. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 28: 45-65.

- Dubois, M.; K. Gilles; J.K. Hamilton; P.A. Rebers y F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analyt. Chem.* 28(3): 350-356.
- ENFEN (Comite Multisectorial Encargado Del Estudio Nacional Del Fenomeno Del Niño). 2010. Informes técnicos preliminares. N° 1-4/2010.
- Fabiano, M.; R. Danovaro y S. Fraschetti. 1995. A three-year time series of elemental and biochemical composition of organic matter in subtidal sandy sediments of the Ligurian Sea (northwestern Mediterranean). *Continental Shelf Research* 15: 1453–1469.
- Fabiano M. y R. Danovaro. 1998. Enzymatic Activity, Bacterial Distribution, and Organic Matter Composition in Sediments of the Ross Sea (Antarctica). *Applied and enviromental microbiology*. p. 3838–3845 Vol. 64, No. 10
- Fabiano, M. y A. Pasceddu. 1998. Total and hydrolysable particulate organic matter (carbohydrates, proteins and lipids) at a coastal station in Terra Nova Bay (Ross Sea, Antartica). *Polar Biol.* 19: 125-132.
- Feller, R.J. y R.M. Warwick. 1988. Energetics. In: HIGGINS, R.P., Thiel, H. (Eds), *Introduction to the study of meiofauna*. Smithsonian Institution Press, Washington, D. C. 181-196.

- Fichez, R. 1991a. Composition and fate of organic matter in submarine cave sediments: implications for the biogeochemical cycle of organic carbon. *Oceanologica Acta* 14, 369–377.
- Gage JD. y PA. Tyler. 1991. Deep-sea biology: a natural history of organisms at the deep-sea floor. Cambridge: Cambridge University Press.
- Gallardo, VA., 1985. Efectos Del fenómeno Del Niño sobre el bentos sublitoral frente a Concepción, Chile, in: Arntz, W; A. Landa; J. Tarazona. El Niño y su impacto en La fauna marina. Inst. Mar Perú – Callao. (Boletín extraordinario), N° 198, PP. 79-85.
- Gallardo, VA; FD Carrasco y JL Cañete. 1995. Ecological patterns in the benthic macrobiota across the continental shelf off central Chile, *Ophelia* 40: 167-188.
- Gerlach, S.A. 1971. On the importance of marine meiofauna for benthos communities. *Oecologia (berlin)* 6: 176-190.
- Giere, O. 1993. Meiobenthology. The microscopic fauna in aquatic sediments. Springer Verlag, Berlin, 538pp.
- Giere, O. 2009. Meiobenthology. Second edition. Springer Verlag, Berlin, 328pp. ISBN: 978-3-540-68657-6.
- Gooday, AJ; JM Bernhard; LA Levin y SB Suhr. 2000. Foraminifera in the Arabian Sea oxygen minimum zone and other oxygen-deficient settings:

- taxonomic composition, diversity, and relation to metazoan faunas. *Deep-Sea Res Pt II* 47:25–54
- Gonzales, R.R. y R.A. Quiñones. 2000. Pyruvate oxidoreductase involved in glycolitic anaerobic metabolism on polychaetes from the continental shelf off central south Chile. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.* 51: 507-519.
- Graco, M.; J. Ledesma; G. Flores y M. Girón. 2007 Nutrientes, oxígeno y procesos biogeoquímicos en el sistema de surgencias de la corriente de Humboldt frente a Perú. *Revista peruana de Biología.* 14(1): 117- 128.
- Greiser N. y A. Flaubel. 1988. Biotic factors. En: Higgins RP., H. Thiel. *Introduction to the study of meiofauna.* Smithsonian Institution Press, Washington, DC. London, PP. 79-114.
- Greze, J.1978. Production in animal populations. In: Kinne, O. (ed.) *Marine ecology, Vol. IV, Dynamics.* Wiley, Chichester, p. 89-114
- Gutiérrez, D. 2000. Bioperturbación y macrofauna en fondos sublitorales de un area de surgencias frente a Chile central (36° 30' S): variación espacial y temporal en El periodo 1997-1999. PhD thesis, Universidad de Concepcion, Chile.
- Gutierrez, D.; VA, Gallardo, S. Mayor, C. Neira; C. Vasquez; J. Sellanes; M. Rivas, A. Soto; FD. Carrasco y M.

- Baltazar. 2000. Effects of dissolved oxygen and fresh organic matter on macrofaunal bioturbation potential in sublittoral bottoms off central Chile, during the 1997-98 El Niño. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 202: 81-99.
- Gutiérrez, D.; E. Enríquez; S. Purca; L. Quipúzcoa; R. Marquina; G. Flores y M. Graco. 2008. Oxygenation episodes on the continental shelf of central Peru: Remote forcing and benthic ecosystem response. *Progress in Oceanography*. 79:177-189.
- Gutiérrez, D., L. Quipuzcoa, W. Yupanqui, R. Marquina, E. Enríquez, J. Cardich, F. Velazco, B. Cuevas, J. Tam, A. Chaigneau. 2009. Interacción de la Zona Mínima de Oxígeno, Sedimentación de Carbono Orgánico y Procesos Bentónicos. Informe Anual LBM 2009. IMARPE, 52 pp.
- Gutiérrez, D., L. Quipuzcoa, W. Yupanqui, R. Marquina, E. Enríquez, J. Cardich, A. Pérez. Interacción de la Zona Mínima de Oxígeno, Sedimentación de Carbono Orgánico y Procesos Bentónicos. Informe trimestral LBM 2010. IMARPE, 11 pp.
- Harvey, HR; JH Turtle y J Tyker-Bell. 1995. Kinetics of phytoplankton decay during simulated sedimentation: Changes in biochemical composition and microbial activity under oxic and anoxic

- conditions. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 59 (16) 3367-3377.
- Helly, J.J. y L.A. Levin. 2004. Global distribution of naturally occurring marine hypoxia on continental margins. *Deep-Sea Research Part I* (51): 1159-1168.
- Higgins, R.P. y H. Thiel. 1988. Introduction to the study of meiofauna. Smithsonian Institution Press, Washington DC.
- Holme, N.A., McIntyre, A.D. 1971. Methods for the Study of Marine Benthos. Second Edition Oxford and Edinburgh: Blackwell Scientific Publications. ISBN-13: 978-0-632-05488-6
- Jorgensen, BB. 1977. Bacterial sulfate reduction within reduced microniches of oxidized marine sediments, *Mar. Biol.* 41: 7-17.
- Jorgensen BB. 1980. Seasonal oxygen depletion in the bottom Waters of a Danish Fjord and its effects on the benthic community. *Oikos* 34: 68-76.
- Jorissen, FJ; HC, de Stigter y JGV Widmark. 1995. A conceptual model explaining benthic foraminiferal microhabitats. *Mar Micropaleontol* 26:3-15.
- Jumars P. A. y R. A. Wheatcroft. 1989. Response of benthos to changing food quality and quantity, with a focus on deposit-feeding and bioturbation. In: *Productivity of the oceans and past*, W. H. Berger, V. S. Smetacek and G. Wefer, editors, Wiley &

- Sons, S. Bernhard, DahlemKonferenzen, 1989, pp. 235- 253.
- Khripounoff A., P. Crassous, D. Desbruyeres y J. R. Le Cox. 1985. Le flux organique particulaire et ses transformations a l'interface eau-srdiment. In: Peuplements profonds du Golfe de Gascogne, L. Laubier and C. Monniot, editors, IREMER Publications, Brest, France, pp. 101-118.
- Kendall, MG. 1970. Rank correlations methods. Griffin. London.
- Lalli C. y R. Parsons. 2006. Biological oceanography. Second Edition. University of British Columbia. Elsevier Butterworth-Heinemann. ISBN 0 7506 338.
- Lallier Vergès, E.; P. Bertrand y A. Despraires. 1993. Organic matter composition and sulfate reduction intensity in Oman Margin sediments. Mar. Geol.112: 57-59.
- Le Guellec, C. y P. Bodin. 1992. Meiobenthos of the Bay of Saint-Brieuc (North Brittany, France). I: Quantitative distribution in subtidal and intertidal zones. Oceanol. Acta 15 (6): 661-671.
- Leiter, C y AV Altenbach. 2010. Benthic Foraminifera from the Diatomaceous Mud Belt Off Namibia: Characteristic Species for Severe Anoxia. Palaeontol Electron 13:11A:19p.palaeoelectronica.org/2010_2/188/index.html

- Levin, L.A.; C.L. Thomas y K. Wishner. 1991. Control of deep sea benthic community structure by oxygen and organic-matter gradients in the eastern Pacific Ocean. *Journal of Marine Research* 49, 763–800.
- Levin, L; D Gutiérrez, AE Rathburn, C Neira, J Sellanes, P Muñoz, V Gallardo y M. Salamanca. 2002. Benthic processes on the Peru margin: a transect across the oxygen minimum zone during the 1997-98 El Niño. *Prog Oceanogr* 53:1-27
- Levin, LA. 2003. Oxygen minimum zone benthos: adaptation and community response to hypoxia. *Oceanogr Mar Biol Ann Rev* 41: 1–45.
- Libes, S. 2009. Introduction to Marine Biogeochemistry. Second Edition. Elsevier ISBN: 978-0-12-088530-5.
- Longhurst A. 2007. Ecological geography of the sea. Elsevier Butterworth-Heinemann ISBN-13: 978-0-1245-5521
- Lorenzen, C., Jeffrey, J. 1980. Determination of chlorophyll in sea water. UNESCO Technical Papers in Marine Science 35, 1–20.
- Lowry, O.H.; N.J. Rosenbrough; A. Farr y Randall R.J. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Exp. Mar. Ecol.* 12: 103-118.
- Maguire, C. 1977. Meiofaunal community structure and vertical distribution: a comparison of some Co. down beaches. In: Keagan BF, Ceidigh PO, Boaden

- PJS. Biology of benthic organisms. Pergamon Press, p425-431.
- Mann, KH y JRN Lazier. 1991. Dynamics of marine ecosystems: Biological physical interactions in the oceans. Blackwell Scientific Publications Inc. 466pp.
- Meyer-Reil, L. A. 1983. Benthic response to sedimentation events Western Kiel Bight. II Analysis of benthic bacterial populations. Marine Biology, 77, 247-256.
- Meadows OS. 1986. Biological activity and seabed sediment structure. Nature 323: 207.
- Medernach, L. 2000. Relations entre la matière organique et la faune benthique dans le golfe du Lion. Thèse de Doctorat de l' Université de Paris 6.
- Messie M., J. Ledesma, D. Kolber , P. Michisaki , G. Foley y F. Chavez. 2009. Potential new production estimates in four eastern boundary upwelling ecosystems a Progress in Oceanography 83:151–158
- Meysman FJR, OS Galaktionov, B Gribsholt y JJ Middelburg. 2006b. Bio-irrigation in permeable sediments: advective pore water transport induced by burrow ventilation. Limnol Oceanogr 51:142–156.
- Murray, JW. 2001. The niche of benthic foraminifera, critical thresholds and proxies. Mar Micropaleontol 41:1–7

- Musat, N, O Giere, A Gieseke, F Thiermann, R Amann, y N Dubilier. 2007. Molecular and morphological characterization of the association between bacterial endosymbionts and the marine nematode *Astomonema* sp. from the Bahamas. *Environ Microbiol* 9: 1345–1353.
- Neira, C.; J. Sellanes; L.A. Levin y W.E. Arntz. 2001a. Meiofaunal distributions on the Peru margin: relationship to oxygen and organic matter availability. *Deep-Sea Research* 48, 2453–2472.
- Neira, C.; J. Sellanes; A. Soto; D. Gutiérrez y V.A. Gallardo. 2001b. Meiofauna and sedimentary organic matter off central Chile: response to changes caused by the 1997–98 El Niño. *Oceanologica Acta* 24, 313–328.
- Nelson DM, WO Smith, RD Muench, LI Gordon, CW Sullivan y DM Husby. 1989. Particulate matter and nutrient distributions in the ice-edge zone of the Weddell Sea: relationship to hydrography during late summer. *Deep Sea Res* 3:191±209.
- Newell R.C. y J. G. Field. 1983. The contribution of bacteria and detritus to carbon and nitrogen flow in a benthic community. *Marine biological letters*, 4:23-36

- Nylon, KG y L. Olson. 1973. Seasonal fluctuations of the meiobenthos in a estuary on the Swedish West coast. *Zoosystema* 1(2): 1-12.
- Odum WE, Kirk PW y Zieman SC. 1979. Non-protein nitrogen compounds associated with particles of vascular plant detritus. *Oikos* 32:363-367
- Ólafsson E, H. Modig y WJ Bund van den. 1999. Species specific uptake of radio-labelled phytodetritus by benthic meiofauna from the Baltic Sea. *Mar Ecol Prog Ser* 177: 63–72
- Parsons TR.; M. Takahashi y B. Hargrave. 1984b. *Biological Oceanographic Processes* (3° edition). Pergamon Press. Oxford. 330pp.
- Pascal, P-Y, C Dupuy, P Richard, J Rzeznik-Orignac y N Niquil. 2008. Bacterivory of a mudflat nematode community under different environmental conditions. *Mar Biol* 154: 671–682
- Paulmier A., D. Ruiz-Pino y V. Garçon. 2008. The oxygen minimum zone (OMZ) off Chile as intense source of CO₂ and N₂O. *Continental Shelf Research* 28: 2746–2756
- Pearson TH y R. Rosenberg. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Ver.* 16: 229-311.

- Pennington J, K. Mahoney, V. Kuwahara D. Kolber, R. Calienes y F. Chavez. 2006. Primary production in the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography* 69: 285–317
- Phleger FB y A Soutar. 1973. Production of benthic foraminifers in three east Pacific oxygen minima. *Micropaleontol* 19:110-115.
- Rainer, SF; RC Fitzhardinge RC. 1981. Benthic communities in a estuary with periodic deoxygenation. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.* 32: 158-163.
- Rathburn, A. y B. Corliss. 1994. The ecology of living (stained) deep sea benthic foraminifera from the Sulu Sea. *Paleocenography*, 9(11), p.p. 87-150.
- Relexans, J.C.; J. Deming; A. Dinet; J.F. Gaillard y M. Sibuet. 1996. Sedimentary organic matter and meiobenthos with relation to trophic conditions in the tropical northeast Atlantic. *Deep Sea RES. I.* 43 (8): 1343-1368.
- Rice, D.L. 1982. The detritus nitrogen problem: New observations and perspectives from organic geochemestri. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 9, 153-162.
- Riedl RJ. 1971. Energy exchange at the bottom water interface. *Thalass Jugosl* 7: 329–339.
- Riemann, F. 1995. The deep-sea nematode *Thalassomonhystera bathislandica* sp.nov. and

- microhabitats of nematodes in flocculent surface sediments. J mar biol Ass UK 75: 715–724
- Risgaard-Petersen, N; AM Langezaal; S Ingvarlsen; MC Schmid; MSN Jetten MSM, HJM Op den Camp; JWM Derksen; E Piña-Ochoa; SP Eriksson; LP Nielsen; NP Revsbech; T Cedhagen; GJ van der Zwaan. 2006. Evidence for complete denitrification in a benthic foraminifer. Nat 443:93–96
- Rosengber, R., W. Arntz, E. Chumán de Flores, LA Flores, G. Carbajal, I. Finger y J. Tarazona. 1983. Benthos biomass and oxigen deficiency in the Peruvian upwelling system. J. Mar. Res 41: 263-279.
- Rowe. 1985. Benthic production and processes off baja California, northwest Africa and Peru: a classification of bentic subsystem in upwelling ecosystem. Simposio internacional sobre áreas de afloramiento ma simportantes Del oeste africano (Cabo Blanco y Beguela), Instituto de Investigaciones Pesqueras. Barcelona Vol. II PP 589-612.
- Sánchez, S.; J. Tarazona, R. Flores, M. Maldonado y G. Carbajal. 1988. Características del fitoplancton de invierno en Bahía Independencia, Perú.
- Sarmiento J. y N. Gruber. 2006. Ocean Biogeochemical Dynamics. Princeton University Press ISBN: 9780691017075

- Schwinghamer P, B Hardgrave, D Peer y Chawkins. 1986. Partitioning of production and respiration among size groups of organisms in an intertidal benthic community. *Marine Ecology Progress Series* 31: 131-142.
- Sellanes, J.; C. Neira; V.A. Gallardo; D. Gutierrez y A. Soto A. 1999. Meiofauna metazoaria en una zona de surgencias costera de Chile central: relaciones con factores abióticos durante El Niño 1997-1998. VIII COLCAMAR, Trujillo, Perú. Libro de resúmenes ampliados pp 752-753.
- Sellanes, J. 2002. Efectos de El Niño 1997-98 sobre los indicadores bioquímicos de la material orgánica sedimentaria y la meiofauna en un área de surgencia costera de Chile central. PhD thesis, Universidad de Concepción, Chile.
- Sellanes, J., E. Quiroga, C. Neira, D. Gutierrez. 2007. Changes of macrobenthos composition under different ENSO cycle conditions on the continental shelf off central Chile. *Continental Shelf Research* 27: 1002-1016
- Soetaert, K. 1997. Nematode Distribution in ocean margin sediments of the Goban Spur (northeast Atlantic) in relation to sediment geochemistry. *Deep Sea Res I* 44(10): 1671-1683.

- Strickland J.H.D. y T.R.Parsons. 1972. A Practical Handbook of Sea Water Analysis. Fish. Res. Board. Can. Bull.. Ottawa, Canada. 311 p 122.
- Sun, M; C. Lee y RC. Aller. 1993. Anoxic and oxic degradation of ¹⁴C-labeled chloropigments and a ¹⁴C-labeled diatom in long Island Sound sediments. Limnol. Oceanogr. 38 (7): 1438-1451.
- Sundelin, B; R Elmgren. 1991. Meiofauna of na experimental soft bottom ecpsystem effects of macrofauna and cadmium exposure. Mar. Ecol. Prog. Serv. 70: 245-255
- Tarazona, J; WE Arntz; E. Canahiuiire. 1996. Impact of two El Niño events of different intensity on the hipoxic soft bottom macrobenthos off the central peruvian coast. Mar. Ecol. 17: 425-446.
- Taylor, I.S. y D.M. Paterson. 1998. Microspatialvariation in carbohydrate concentrations with depth in the upper millimetres of intertidal cohesive sediments, Estuar. Coast ShelfSci. 46: 359-370.
- Tenore KR y DL Rice.1980. A review of trophic factors affecting secondary production of deposit-feeders.. In: Tenore KR, Coull BC (eds) Marine benthic dynamics. University of South Carolina Press, Columbia, SC, pp. 325–340
- Tenore KR, L. Cammen, S. Findlay y N. Phillips.1982. Perspectives of research on detritus: do factors

- controlling the availability of detritus to macroconsumers depend on its source?. J Mar Res 40: 473–490
- Tenore KR. 1988. Nitrogen in benthic food chains. In: Blackburn TH, Sorensen J (eds) Nitrogen cycling in coastal marine environment. Wiley, New York, p 191-206
- Thiel H, O. Pfannkuche, G. Schriever, K. Lochte, AJ Gooday, C. Hemleben, RFG Mantoura, CM Turley, JW Patching y F. Riemann.1988. Phytodetritus on the deep-sea floor in a central oceanic region of the Northeast Atlantic. Biol Oceanogr 6: 203–239.
- Todaro, MA; JM Bernard, WD Hummon. 2000. A new species of Urodasys (Gastrotricha, Macrodasyida) from dysoxic sediments of the Santa Barbara Basin (California, U.S.A.). Bull Mar Sci 66: 467–476.
- Tumbiolo, M y JA Downing. 1994. An empirical model for the prediction of secondary production in marine benthic invertebrate populations. Mar. Ecol. Prog. Ser. 114:165-174.
- Vanaverbeke J, M Steyaert, K Soetaert, V Rousseau, D Van Gansbeke, JY Parent y M Vincx. 2004. Changes in structural and functional diversity of nematode communities during a spring phytoplankton bloom in the southern North Sea. J Sea Res 52: 281–292.

- Vraken G. Y C. Heip. 1986. The productivity of marine nematodes. *Ophelia* 26: 429-442.
- Warwick, R.M. 1979. Secondary production of the benthod in a estuarine enviroment. Oxford, pp 429-450.
- Warwick, RM; JM, Gee; JÁ Berge y W Ambrose. 1986. Effects of the feeding activity of the pilychaete *Streblosoma bairdi* (Malmgren) on meiofaunal abundance and community structure. *Sarsia* 71:11-16.
- Watlin, L. 1991. The sedimentary millieu and its consequences for resident organisms. *Am. Zool.* 31 (6): 789-796.
- Wieser, W. 1960. Bemthic studies in Buzzards Bay. II. The meiofauna *Limnol. Oceanogr.* 27: 576-584
- Wooster, W.S. y M. Gilmartin. 1961. The Peru-Chile Undercurrent. *Journal of Marine Research* (19): 97-122.